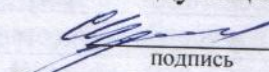


Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИИ  
(институт)  
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ГОРНО – МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО  
ПРОИЗВОДСТВА  
(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 С.В. Кузьмин  
подпись инициалы, фамилия

«19» 02 2017 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

21.05.04. Горное дело

(код и наименование специальности)

21.05.04.0010 Электрификация и автоматизация горного производства

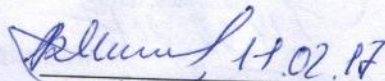
(код и наименование специализации)

Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Средства и системы  
обеспечения электробезопасности на горных предприятиях». Проектирование,  
монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Контроль  
изоляции в электроустановках»

(тема)

Пояснительная записка

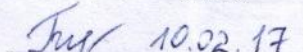
Руководитель

 19.02.17  
(подпись, дата)

К.Т.Н. ДОЦЕНТ  
(должность, ученая степень)

В.А. Меньшиков  
(инициалы, фамилия)

Выпускник

 10.02.17  
(подпись, дата)

М.И. Гук  
(инициалы, фамилия)

Красноярск 2017 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему: Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях». Проектирование, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Контроль изоляции в электроустановках» содержит 76 листов, 41 рисунок, 17 таблиц, 12 источников, 5 листов формата А1 графического материала.

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ, РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, ЭКОНОМИКА.

Объектом дипломного проектирования является лабораторный стенд для контроля изоляции в электроустановках.

Цель работы: разработать лабораторный стенд для проведения экспериментальных исследований по контролю изоляции в электроустановках.

В процессе работы проведены: моделирование лабораторной работы; разработка структурной и принципиальной электрической схемы лабораторной установки; разработка комплекта рабочей документации для изготовления лабораторной установки; техническая реализация установки; экспериментальные исследования; выводы по результатам исследований; разработка методических указаний по выполнению лабораторных работ.

Использование установки в лабораторном практикуме поможет студентам в закреплении теоретических знаний по тематике лекционного материала дисциплины «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях».

## Оглавление

Введение.....	8
1. Общие технические и проектные решения по разработке и внедрению лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях» .....	9
1.1. Виды поражения электрическим током .....	9
1.2. Факторы, определяющие действие электрического тока на организм человека .....	10
1.3. Анализ опасности поражения током в различных электрических сетях .....	12
1.4. Периодический контроль изоляции.....	14
1.5. Постоянный контроль изоляции .....	15
1.6. Двухфазное прикосновение человека.....	16
1.7. Выбор схемы сети и режима нейтрали.....	16
2. Проектирование лабораторной работы «Контроль изоляции в электроустановках».....	17
2.1. Моделирование лабораторной работы в среде Multisim.....	17
2.2. Общий дизайн лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях» .....	18
2.3. Расчет и выбор сетей кабельных линий .....	22
2.4. Выбор коммутационных аппаратов по току нагрузки .....	25
2.5. Расчет и выбор освещения.....	27
2.6. Расположение оборудования в лаборатории .....	29
2.7. Проектирование и расчет силового трансформатора .....	32
3. Разработка методического обеспечения «Контроль изоляции в электроустановках».....	36
3.1. Описание конструкции стендов .....	36
3.2. Создание методического обеспечения и указания для выполнения работы .....	40
3.3. Монтажная схема и основные неполадки .....	51
4. Безопасность жизнедеятельности.....	53
4.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов .....	53
4.2. Технические и организационные мероприятия по охране труда .....	54
4.3. Мероприятия по производственной санитарии.....	55
4.4. Мероприятия по пожарной и взрывной безопасности .....	56

5. Экономическая часть .....	57
5.1. Расчет затрат на приобретение электрооборудования .....	58
5.2. Расчет затрат на материалы.....	58
5.3. Расчет расходов по заработной плате персонала .....	60
Заключение .....	62
Список используемых источников .....	63
Приложения.....	64

## **Введение**

Электроэнергия в настоящее время встречается практически во всех отраслях жизнедеятельности человека. Значительное применение электроэнергии получила в горной промышленности. Её широкое использование, привело к значительному расширению круга лиц, которые связаны с эксплуатацией электрооборудования.

Поэтому при эксплуатации электрооборудования электробезопасности уделяется большое значение. Повышение электробезопасности решается улучшением условий труда, совершенствованием мер защиты персонала, а так же других лиц которые связаны с эксплуатацией электроустановок, от опасности поражением электрическим током. Создаются новые средства защиты с учетом достижений в области электробезопасности.

Возможность поражения электрическим током один из наиболее часто встречающихся опасных производственных факторов. Анализ несчастных случаев в горной промышленности, сопровождающихся временной утратой трудоспособности пострадавшими, показывает, что количество травм вызванных электрическим током, сравнительно невелико и составляет примерно 1% от общего количества несчастных случаев на производстве. Тем временем, если рассматривать только смертельные несчастные случаи картина будет совершенно иной. Около 20-40% (а в энергетике до 60%) всех случаев со смертельным исходом происходит в результате поражения человека электрическим током, что больше чем по какой-либо другой причине.

Причем 80% смертельных поражений электрическим током происходит в электроустановках до 1000 В.

Последнее объясняется тем, что электроустановки напряжением до 1000В получили огромное распространение на всем этапе горного производства, таким образом, с ними имеют дело все лица работающие на производстве. Тем временем как электроустановки выше 1000 В обслуживает сравнительно малочисленный, высококвалифицированный персонал.



# **1. Общие технические и проектные решения по разработке и внедрению лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях»**

## **1.1. Виды поражения электрическим током**

Действие электрического тока на тело человека носит своеобразный и разносторонний характер. Электрический ток, проходя через организм человека, оказывает термическое, электрическое, механическое (динамическое) и биологическое воздействие, последнее из них присуще только живым тканям.

Термическое действие тока в виде ожогов отдельных участков тела, нагреве до высокой температуры кровеносных сосудов, нервов, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути протекания тока, что вызывает серьезные функциональные расстройства этих органов и организма в целом.

Электролитическое действие тока выражается разложением органической жидкости (электролизом), в том числе и крови, что сопровождается значительным изменением их физико-химического состава.

Механическое (динамическое) действие выражается в расслоении, разрыве и других подобных повреждениях различных тканей организма, в том числе мышц, стенок кровеносных сосудов, легочной ткани и др., в результате электродинамического эффекта, а также мгновенного взрывоподобного образования пара от прогрева током жидкости и крови.

Биологическое действие тока проявляется путем раздражения и возбуждения живых тканей организма, а также вследствие нарушения внутренних биологических процессов происходящих в организме, которые тесно связаны с жизненными функциями.

Многообразие действий электрического тока на организм человека нередко приводит к различным электрическим травмам, которые можно свести к двум видам:

- местные, вызывают местное повреждение организма;
- общие (электрические удары), в результате которых поражается (или создается угроза поражения) весь организм, вследствие нарушения деятельности жизненно важных органов и систем.

Местные электрические травмы обусловлены нарушением целостности тканей, в том числе и костей, вызванных влиянием электрического тока или электрической дуги, чаще всего это поверхностные повреждения кожи, мягких тканей, связок и костей.

Местные травмы лечатся, и работоспособность пострадавшего восстанавливается полностью или частично. К местным электрическим травмам относятся: электрические ожоги, электрические знаки, механические повреждения.

Электрический ожог – это повреждение поверхности тела под действием электрической дуги или больших токов проходящих через тело человека.

Различают четыре степени ожогов:

- покраснение кожи;
- образование пузырей;
- отмирание всей толщи кожи;
- обугливание ткани.

Электрические знаки – это четко выраженные метки диаметром 1-5 мм, серого или бледно-желтого цвета, которые появляются на поверхности тела человека в месте контакта с токоведущими частями.

Металлизация кожи – проникновение в верхние слои кожи мельчайших частичек металла, расплавившегося под действием электрической дуги вследствие короткого замыкания или отключения рубильников под нагрузкой и т.п.

Механические повреждения в большинстве случаев являются следствием резких судорожных сокращений мышц, что ведет к разрывам сухожилий, кожи, кровеносных сосудов, нервной ткани, так же могут иметь место вывихи суставов и переломы костей.

Электроофтальмия – это воспаление внешних оболочек глаз, которые возникают под влиянием мощного потока ультрафиолетовых лучей. Электроофтальмия развивается через 4-8 часов после облучения, при этом образуется покраснение и воспаление кожи, слизистых оболочек век, слезы, гнойные выделения из глаз, частичная потеря зрения.

Электрический удар – это электрическая травма, обусловленная рефлекторным действием электрического тока (действующего через нервную систему) вследствие чего возникают спазмы мышц и тканей, нарушается деятельность сердечно-сосудистой системы.

В зависимости от поражения электрические удары делятся на 4 группы:

- спазматическое сокращение мышц без потери сознания;
- спазматическое сокращение мышц с потерей сознания, но с функционирующими сердцем и дыхательной системой;
- потеря сознания с нарушением сердечной деятельности или органов дыхания;
- прекращение дыхания и кровообращения, клиническая смерть.

## **1.2. Факторы, определяющие действие электрического тока на организм человека**

Опасное воздействие электрического тока на организм человека зависит от величины и длительности действия тока протекающего через тело человека, от пути протекания тока в теле человека, рода и частоты тока, состояния организма и физиологических особенностях человека, сопротивления тела человека, настороженности и повышенному вниманию человека к факторам окружающей среды.

Величина тока – в зависимости от последствий действий тока на организм человека различают:

- Ощутимый ток – наименьшее значение тока, который ощущается человеком (согласно опытам 0,5-2 мА при переменном токе, 5-7 мА при постоянном токе).
- Отпускающий ток – наибольшее значение тока, при котором человек сохраняет способность самостоятельно освободиться от контакта с частями находящимися под напряжением (согласно опытам 6-10 мА переменный ток, 30-40 мА постоянный ток).
- Неотпускающий ток – наименьшее значение тока, при котором человек теряет возможность самостоятельно освободиться от действий электрического тока (согласно опытам 11-15 мА переменный ток, 50-80 мА постоянный ток).
- Фибрилляционный ток – ток, при котором наступает фибрилляция сердца и остановка дыхания (ток более 50 мА переменный, ток более 100 мА постоянный).

Продолжительность действия электрического тока – анализ несчастных случаев с людьми от воздействия электрического тока показывает, что длительность прохождения тока через организм существенно влияет на исход поражения: чем продолжительнее действие тока, тем больше вероятность тяжелого или смертельного исхода.

Специальная комиссия, созданная центральным управлением инженерно-технического общества энергетиков, на основании обобщения отечественных и зарубежных исследований, предложила допустимые для человека максимальные токи при различной длительности воздействия. В таблице приведены соответствующие этим токам значения расчетного сопротивления человека и соответствующие напряжения. (ГОСТ 12.1.038.2).

Таблица 1 – Допустимые максимальные токи

Время протекания тока, сек	Допустимая сила тока, А	Сопротивление тела человека, Ом	Напряжение прикосновения, В
0,2	250	700	175
0,5	100	1000	100
0,7	75	1065	80
1,0	65	1150	75
30	6	3000	18
>30	1	6000	6

Путь протекания электрического тока – экспериментальные исследования показывают, что если на пути протекания тока через тело человека, оказываются жизненно важные органы такие как сердце, легкие, мозг, то тяжесть поражения существенно возрастает, если ток проходит иными путями, то его влияние может быть рефлекторным. Статистика показывает, что чаще всего случаи с тяжелыми и смертельными последствиями возникают при протекании тока по путям: рука- рука (40% случаев); правая рука- нога (20%



случаев); левая рука- нога (17% случаев); нога - нога (6% случаев); остальные 17% разные пути.

Род тока – действующие, в настоящее время, нормы не разграничивают в отношении опасности постоянный и переменный ток. Исследователи объясняют меньшую опасность постоянного тока наличием в сопротивлении тела человека емкостной составляющей.

Частота тока – на основании опытных данных установлено, что ток частотой 50-60 Гц является наиболее опасным, увеличение частоты до 2000-2500 Гц мало влияет на снижение опасности воздействия, дальнейший рост частоты тока сопровождается снижением опасности, так как не влечет за собой прекращение работы сердца и других органов. Однако эти токи сохраняют опасность ожогов. Применяемые в медицине для глубокого прогрева токи частотой в сотни тысяч Гц являются безопасными, не смотря на то, что величина тока достигает 1 А и более.

Действие электрического тока на организм зависит: от химического состава крови, количества проводящих щелочей и кислот, от психического состояния человека и других факторов. В состоянии бодрствования или напряженном влиянии человека, время действия тока ослабляется, в состоянии опьянения или неожиданном положении, действие тока становится более опасным. Квалификация и опыт, повышенное внимание и ответственность за свои действия, позволяют снизить опасность от поражения электрическим током.

Сопротивление тела человека – зависит от множества факторов: места контакта, размеров поверхности соприкосновения, состояния кожи, ее влажности, загрязненности, величины приложенного напряжения и протекающего тока, под действием которого сопротивление тела человека, обладающее не линейностью, сильно меняется. При напряжении 20-30 В сопротивление тела человека практически не меняется, с увеличением напряжения в пределах от 20-250В сопротивление тела человека резко уменьшается, вследствие резко выраженного пробоя кожи, создается контакт с хорошо проводящими тканями, при этом сопротивление тела человека может снизиться от нескольких десятков, сотен и тысяч Ом до 1000 Ом и ниже. При напряжении 250 В сопротивление тела человека, уже мало зависит от состояния кожи.

### **1.3. Анализ опасности поражения током в различных электрических сетях**

Все случаи поражения человека током в результате электрического удара, то есть прохождения тока через человека, являются следствием его прикосновения не менее чем к двум точкам электрической цепи, между которыми существует некоторое напряжение. Опасность такого прикосновения оцениваемая как известно током, проходящим через тело человека или напряжением под которым он оказывается, то есть напряжением прикосновения зависит от ряда факторов: схемы включения человека в электрическую цепь, напряжение сети, схемы самой сети, режима ее нейтрали, степени изо-

ляции токоведущих частей от земли, а также емкости токоведущих частей относительно земли.

Из этого следует, что указанная опасность не однозначна: в одних случаях включение человека в электрическую цепь будет сопровождаться прохождением через него малых токов и окажется не опасным, в других токи могут достигать больших значений, способных вызвать смертельное поражение человека.

Сети переменного тока бывают однофазными и многофазными. В промышленности преимущественно применяют трехфазные и значительно реже однофазные.

Однофазные сети могут быть двухпроводными изолированными от земли или с заземленным проводом и однопроводными, когда роль второго провода играет земля, рельс и тому подобное.

Двухпроводные сети используют для питания малым напряжением: 12; 24; 36; 48 В – ручных переносных ламп, электрифицированных инструментов и подобных им потребителей, а при более высоких напряжениях: 127; 220; 380 В и выше – для питания сварочных трансформаторов, испытательных установок и других потребителей.

Трехфазные сети в зависимости от режима нейтрали (глухозаземленная или изолированная), и наличия нулевого или нейтрального проводника, могут быть выполнены по пяти схемам включения режима нейтрали:

- IT – трехфазная, трехпроводная сеть с изолированной нейтралью силового трансформатора и заземлением корпусов электроустановок;
- TT – трехфазная, трехпроводная сеть с заземленной нейтралью силового трансформатора и корпуса электроустановки;
- TN-C – трехфазная, четырехпроводная сеть с заземлением нейтрали силового трансформатора и корпусов электроустановок, с занулением корпуса электроустановки на 4 провод (PEN – защитный заземляющий нулевой);
- TN-S – трехфазная пяти проводная сеть с заземлением нейтрали силового трансформатора, корпусов электроустановок (отдельный нулевой провод – N и отдельный защитный заземляющий провод – PE).

Нейтральная точка (нейтраль) – обмотки источника или потребителя энергии, есть точка, напряжение которой относительно всех внешних выводов обмотки одинаковы по абсолютному значению.

В сетях однофазных и многофазных питающихся от источников энергии не имеющих нейтральной точки (например, трансформатор трехфазного тока, обмотки которого соединены треугольником), может быть создана искусственная нейтральная точка, с помощью резисторов, трансформаторов и тому подобному.

Заземленная нейтральная точка носит название нулевой точки. Нейтраль, заземленная путем непосредственного присоединения к заземлителю или через малое сопротивление, называется глухозаземленной нейтралью.

На некоторых предприятиях России создан так называемый переменный режим нейтрали: при нормальной работе сети нейтраль изолирована, а в момент аварии она автоматически заземляется. Таким образом, используются положительные свойства сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы и положительные свойства сети с глухозаземленной нейтралью – в аварийном режиме.

Схемы включения человека в цепь могут быть разными, однако наиболее распространены две схемы включения: между двумя фазами электрической сети и между одной фазой и землей, во втором случае предполагается электрическая связь между сетью и землей. Применительно к сетям переменного тока первая схема соответствует двухфазному прикосновению, а вторая – однофазному.

Двухфазное прикосновение, обычно, более опасно, поскольку к телу человека прикладывается наибольшее напряжение – линейное.

#### **1.4. Периодический контроль изоляции**

Периодический контроль изоляции – измерение сопротивления при приемке электроустановки после монтажа, периодически в сроки, устанавливаемые правилами (для сетей с напряжением до 1000 В – не реже одного раза в год) или в случае обнаружения дефектов. Измерение согласно правилам должно производиться на отключенной установке. При таком измерении можно определить сопротивление изоляции отдельных участков сети, электрических аппаратов, трансформаторов, электродвигателей и тому подобное.

Измеряется сопротивление изоляции каждой фазы относительно земли и между каждой пары фаз на каждом участке между двумя последовательно установленными аппаратами защиты или за последним защитным аппаратом (автоматическим выключателем, плавким предохранителем).

Измеренное таким образом сопротивление изоляции отдельных участков сети не может служить критерием безопасности, так как ток замыкания на землю определяется сопротивлением изоляции всей сети, относительно земли. В результате таких измерений выявляются участки с дефектной изоляцией, требующие профилактических мероприятий, для предупреждения замыкания на землю и коротких замыканий.

Достоинства периодического контроля:

- возможность измерения конкретных величин сопротивления изоляции фаз и между фазами;
- после сравнения измеренной величины сопротивления изоляции с минимально допустимым, делается вывод о возможности эксплуатации электроустановки.

Недостатки периодического контроля:

- возможность эксплуатации электроустановок в течение некоторого времени с пониженным сопротивлением изоляции;
- измеренное сопротивление изоляции только отдельных участков сети, а это не может служить критерием безопасности всей сети.

Состояние изоляции характеризуется её электрической прочностью диэлектрическими потерями и электрическим сопротивлением.

В электроустановках до 1000 В особенно с изолированной нейтралью, контроль состояния изоляции ограничивается измерением её сопротивления и испытанием изоляции некоторых элементов повышенным напряжением.

Периодическое измерение сопротивления изоляции производится на отключенной установке с помощью омметров и мегомметров. Сопротивление изоляции зависит от приложенного напряжения, чем меньше напряжение, тем больше измеряемое сопротивление, поэтому точность измерения омметра, напряжение которого несколько вольт, невелика. Более точные измерения сопротивления изоляции обеспечивают мегомметры – приборы, в которых источником измерительного тока служат индукторы – маленькие магнитоэлектрические генераторы, приводимые в действие вращением рукоятки от руки и вырабатывающие ток напряжением до 2500 В.

Непрерывный контроль сопротивления изоляции сети с изолированной нейтралью можно осуществить в простейшем случае с помощью трех вольтметров, включенных между проводами и землей.

Если сопротивление изоляции всех проводов сети одинаково, то каждый из вольтметров будет показывать фазное напряжение сети. При снижении сопротивления изоляции одного из проводов будет уменьшаться и показание вольтметра, подключенному к тому проводу, в то время как показания двух других вольтметров будут возрастать.

Вентиляция может быть снабжена токовым реле, замыкающим цепь светового или звукового сигнала, свидетельствующего о снижении сопротивления изоляции.

Контроль изоляции в электроустановках до 1000 В производят не реже одного раза в три года.

Сопротивление изоляции силовых и осветительных электропроводок должно быть не ниже 5 МОм. Испытание повышенным напряжением 1000 В (50 Гц) осуществляется в течение 1 минуты.

### **1.5. Постоянный контроль изоляции**

Постоянный контроль изоляции нашел широкое применение в электросетях и изолированной нейтралью и представляет собой контроль сопротивления изоляции под рабочим напряжением в течение всего времени работы электроустановок без отключения от сети.

Постоянный контроль позволяет:

- выявить повреждения, дефекты, не обнаруженные во время периодических испытаний;
- предотвратить искрообразование в местах плохих контактов, которое может привести к пожару, взрыву или электротравме;
- в сетях с изолированной нейтралью предотвращается возможность опасных замыканий на землю.

## 1.6. Двухфазное прикосновение человека

Сила тока через человека при двухфазном прикосновении не зависит от режима нейтрали и сопротивления изоляции, а определяется только линейным напряжением и сопротивлением человека:

$$I_h = \frac{U_L}{R_h}, \text{ A} \quad (1.1)$$

При  $U_L = 380 \text{ В}$ ,  $R_h = 1000 \text{ Ом}$  сила тока через человека  $I_h = 380 \text{ мА}$ , т.е. смертельна.

Сравнительная оценка двух видов фазных сетей показывает следующее:

1. При однофазном прикосновении в период нормальной работы сети ток через человека определяется:

- в сети с изолированной нейтралью – сопротивлением изоляции и емкостью фаз относительно земли;
- в сети с глухозаземленной нейтралью – только сопротивлением человека.

2. Однофазное прикосновение к сети с изолированной нейтралью с малой емкостью и высоким сопротивлением изоляции безопаснее, чем прикосновение к сети с глухозаземленной нейтралью.

3. Однофазное прикосновение в период аварийной работы сети в сети с изолированной нейтралью опаснее, чем в сети с глухозаземленной нейтралью. Защитная роль изоляции сводится к нулю и резко возрастает ток через человека.

4. Опасность поражения при двухфазном прикосновении не зависит от режима нейтрали и сопротивления изоляции. Этот случай является наиболее опасным.

## 1.7. Выбор схемы сети и режима нейтрали

Схема сети, следовательно, и сам режим нейтрали источника тока, питающего эту сеть, выбираются по технологическим требованиям, а также по условиям безопасности.

При напряжении до 1000 В в России, наибольшее распространение получили две схемы трехфазных сетей: трехпроводная с изолированной нейтралью и четырехпроводная с глухозаземленной нейтралью.

По технологическим требованиям предпочтение, как правило, отдают четырехпроводной сети, так как она позволяет использовать два рабочих напряжения – линейное и фазное. Например, от четырехпроводной сети 380В может получать питание как силовая нагрузка – трехфазная или однофазная, включив ее между фазными проводами на линейное напряжение 380В, так и осветительная нагрузка, включив её между фазным и нулевым проводом, т.е.

на фазное напряжение 220 В. При этом снижается стоимость электроустановки в целом благодаря применению меньшего числа трансформаторов, меньшего сечения проводов и тому подобному.

По условиям безопасности выбор одной из двух схем производится с учетом выводов, полученных при рассмотрении этих сетей, а именно: по условиям прикосновения к фазному проводу в период нормального режима работы сети более безопасна, как правило, сеть с изолированной нейтралью, а в аварийный период – сеть с глухозаземленной нейтралью.

Поэтому по условиям безопасности сети с изолированной нейтралью целесообразно применять на объектах с повышенной опасностью поражения электрическим током и в тех случаях, когда имеется возможность поддерживать на должном уровне изоляцию проводов сети относительно земли и когда емкость проводов относительно земли не значительна. Такими являются сравнительно короткие сети, в большинстве случаев, не подверженные воздействию агрессивной среды и находящиеся под постоянным надзором электротехнического персонала. ПУЭ рекомендует использовать трехфазные трехпроводные сети с изолированной нейтралью при повышенных требованиях безопасности: для шахт, карьеров, торфяных разработок, передвижных установок и т.д.

Сети четырехпроводные с глухозаземленной нейтралью следует применять там, где невозможно обеспечить хорошую изоляцию проводов (из-за высокой влажности, большой протяженности, агрессивной среды и т.п.), когда нельзя быстро отыскать или устранить повреждение изоляции или когда емкостные токи замыкания на землю достигают больших значений, опасных для жизни человека. Примером таких сетей могут служить сети крупных промышленных предприятий, городские сети.

## **2. Проектирование лабораторной работы «Контроль изоляции в электроустановках»**

### **2.1. Моделирование лабораторной работы в среде Multisim.**

Перед началом создания лабораторной работы, было проведено компьютерное моделирование проектируемой схемы в среде Multisim. В процессе моделирования было принято решение, подключить стенд к наиболее безопасному напряжению равному 24 В, а все значения активных и ёмкостных сопротивлений подобрать таким образом, чтобы получились токи как при напряжении 220 В, в результате на шкалах приборов отображаются такие же значения.

В среде Multisim были смоделированы и протестированы схемы как на 220 В, так и на 24 В. На рисунке 2.1 представлена схема испытательного стенда в среде Multisim.



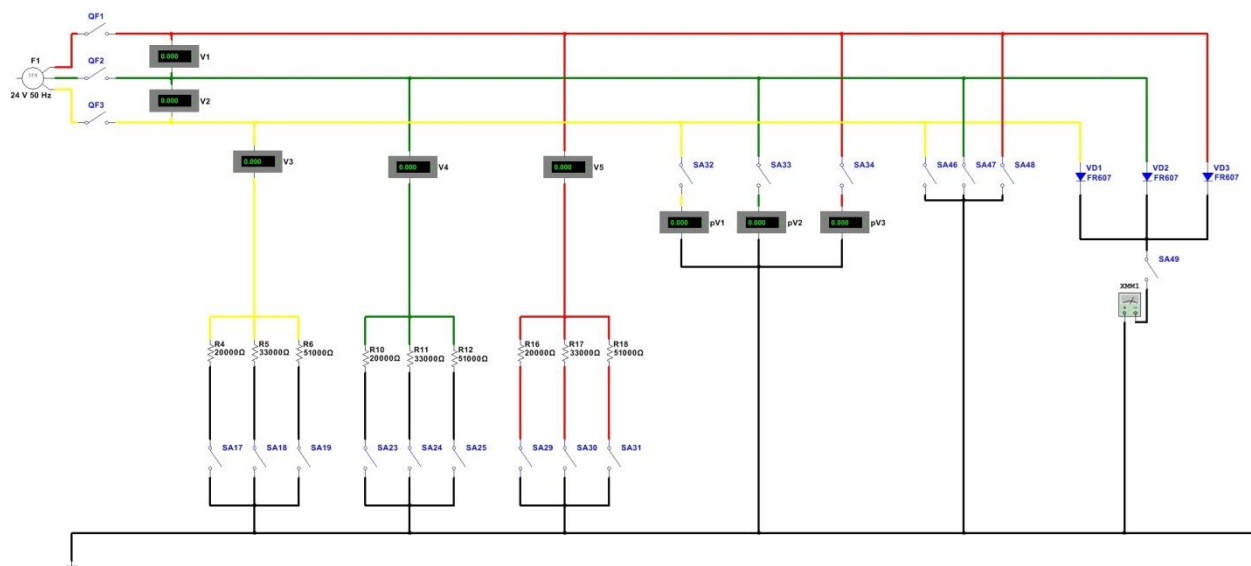


Рисунок 2.1 – Схема испытательного стенда в среде Multisim

Проектные данные в среде Multisim не отличаются от опытных данных, приведенных в научной литературе, поэтому принято решение о создании лабораторного стенда по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях» и разработке методического обеспечения для лабораторной работы на тему «Контроль изоляции в электроустановках».

## 2.2. Общий дизайн лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях»

Лаборатория по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях» расположена на третьем этаже учебного корпуса Института Горного Дела Геологии и Геотехнологий Сибирского Федерального Университета, в аудитории №309а. На рисунке 2.2 приведено помещение, в котором располагается данная лаборатория.



Рисунок 2.2 – Аудитория №309а

Аудитория №309а оборудована перегородками из ПВХ материала с вставками из прозрачного стекла для равномерного освещения всего помещения естественным способом. Перегородки установлены для отделения учебной зоны от зоны расположения лабораторных стендов.

На рисунке 2.3 приведен внешний вид лабораторного стенда по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях», в котором совмещены работы «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» и «Контроль изоляции в электроустановках».

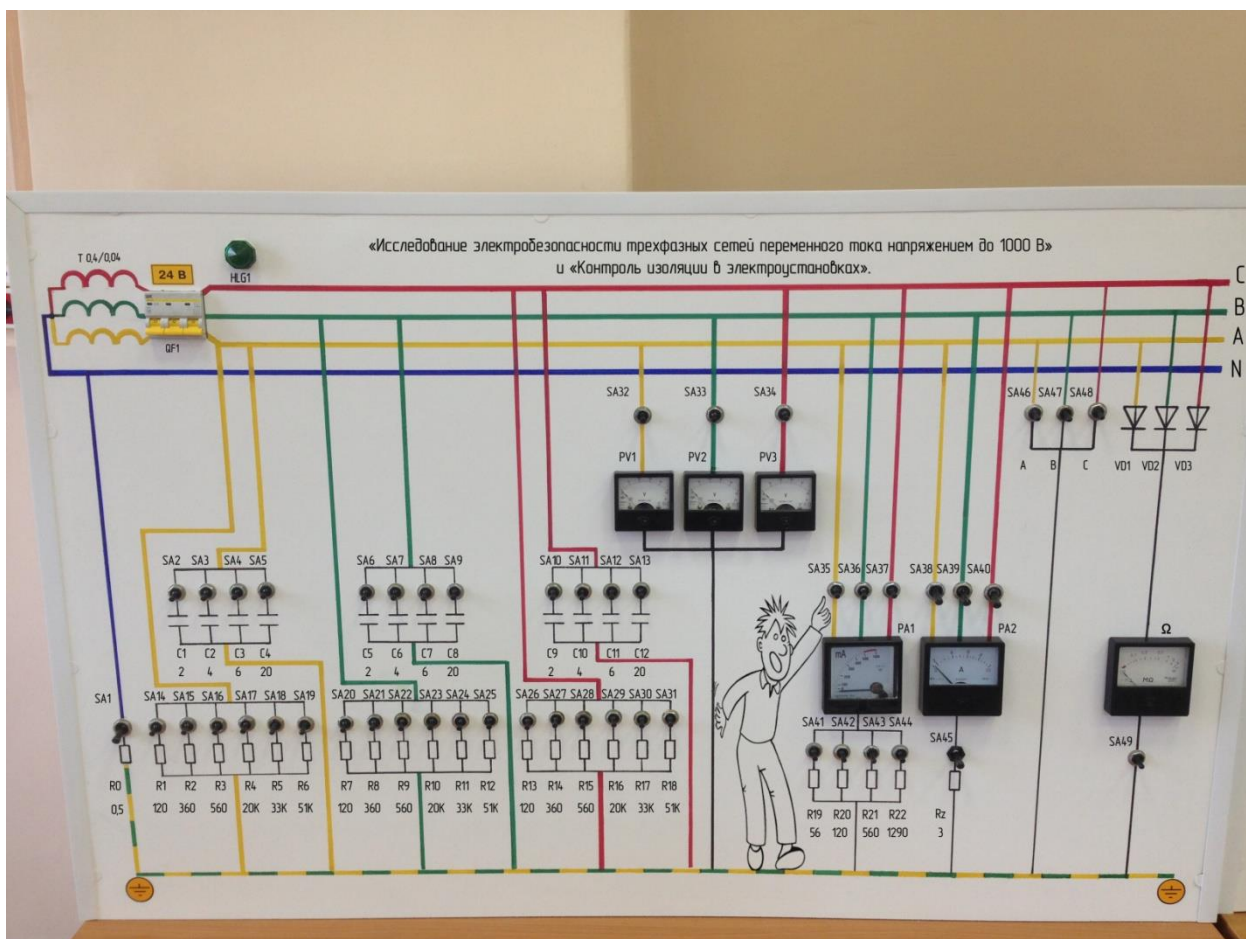


Рисунок 2.3 – Внешний вид стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

Внешний вид лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях» и лаборатории по курсу «Релейная защита и автоматика», в аудитории №309а, приведен на рисунке 2.4.

- 1) Стенд «Исследование эффективности защитного заземления и зануления в трехфазных сетях».
- 2) Стенд «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках».

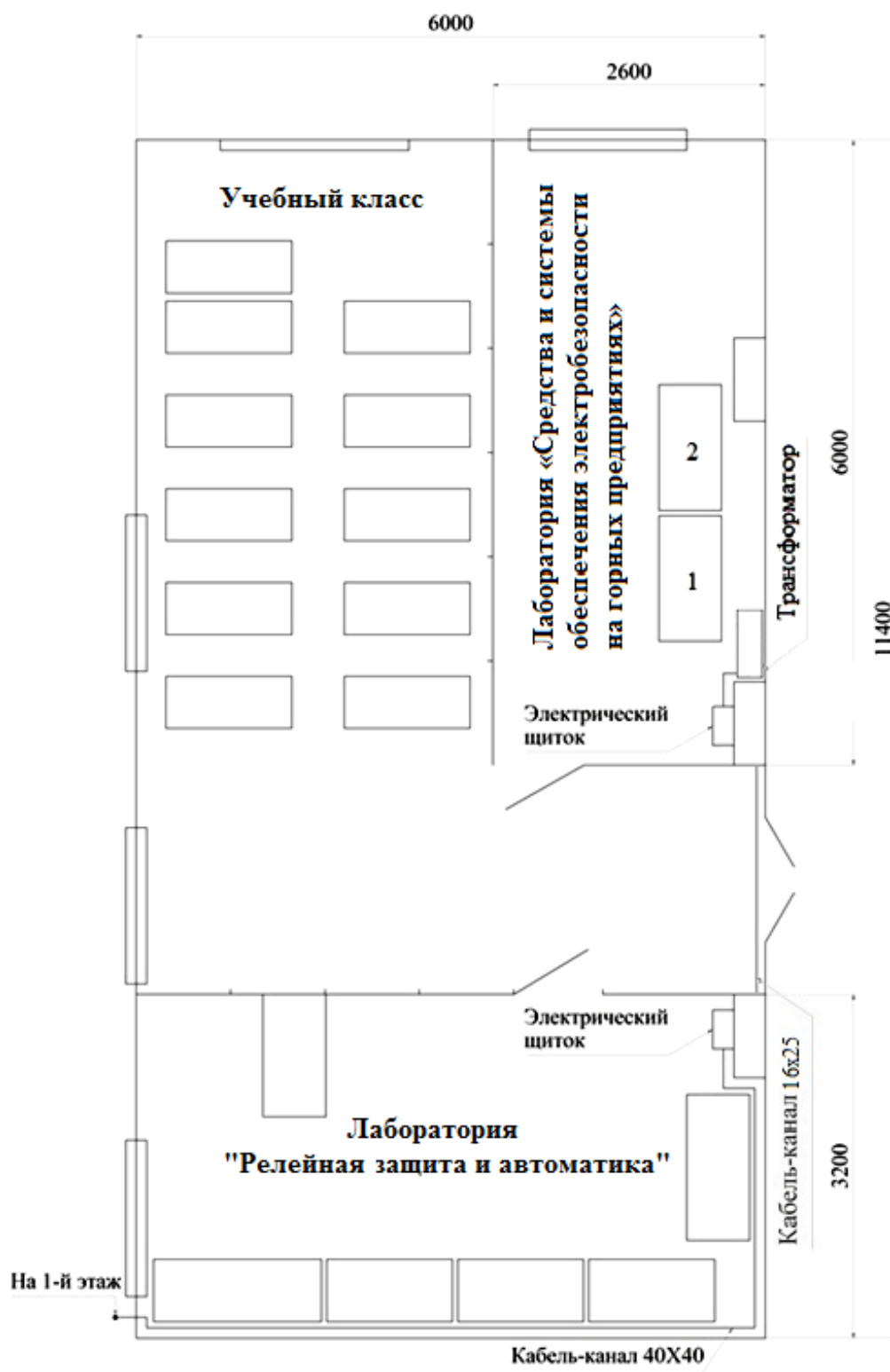


Рисунок 2.4 – Внешний вид лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях» и лаборатории «Релейная защита и автоматика».

### 2.3. Расчет и выбор сетей кабельных линий

Электроснабжение стендов в лаборатории «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях» осуществляется от сети 380 В.

Лаборатория оборудована электрическим распределительным щитком ЩРН - П8, питание которого осуществляется с первого этажа кабелем КГ4х4 проложенному по внешнему фасаду здания в гофрированной трубе ПНД температура (-40°C), заведенным через внешнюю стену в аудиторию №309а. Внутри лаборатории «Релейная защита и автоматика» кабель уложен в кабель-канал 40х40. План монтажа силового кабеля приведен на рисунке 2.5.

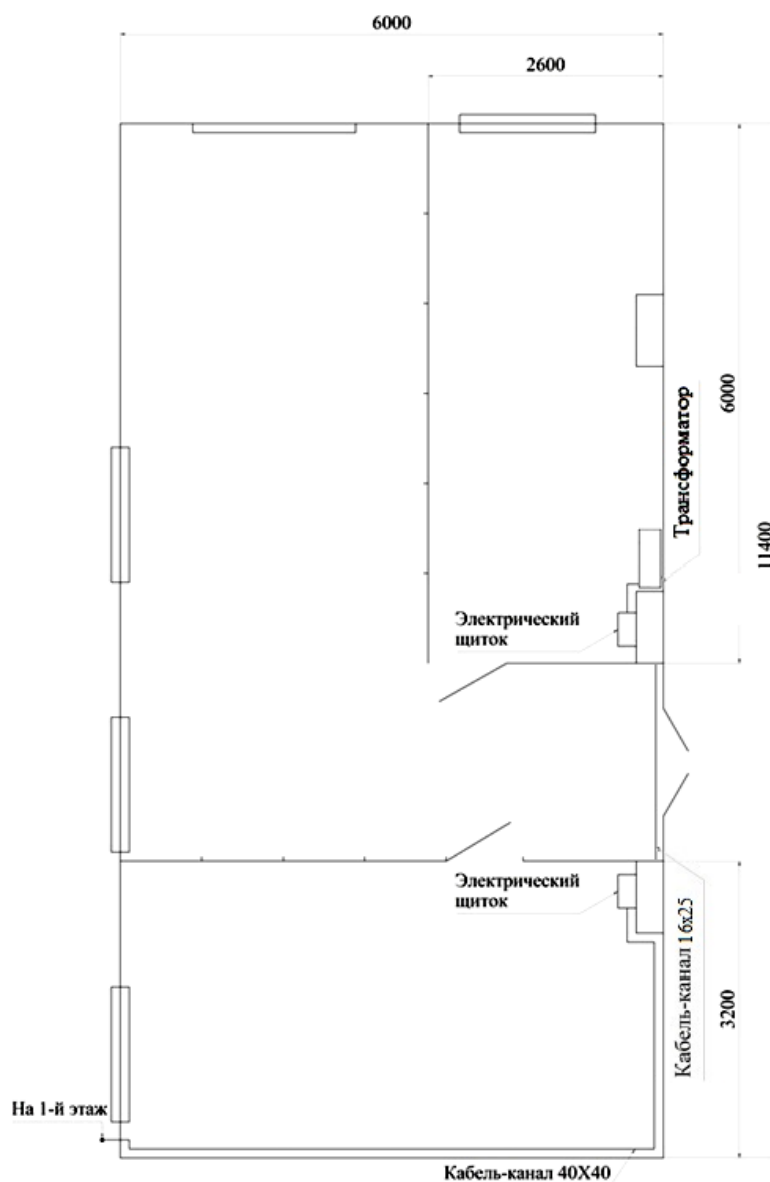


Рисунок 2.5 – План монтажа силового кабеля

На рисунке 2.6 показан смонтированный кабель-канал в лаборатории по курсу «Релейная защита и автоматика».



Рисунок 2.6 – Кабель-канал 40х40 в лаборатории курсу «Релейная защита и автоматика»

На рисунках 2.7 и 2.8 показаны смонтированный кабель-канал 16х25 и распределительный щит в лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях».





Рисунок 2.7 – Монтаж кабель-канала 16х25 в аудитории №309а

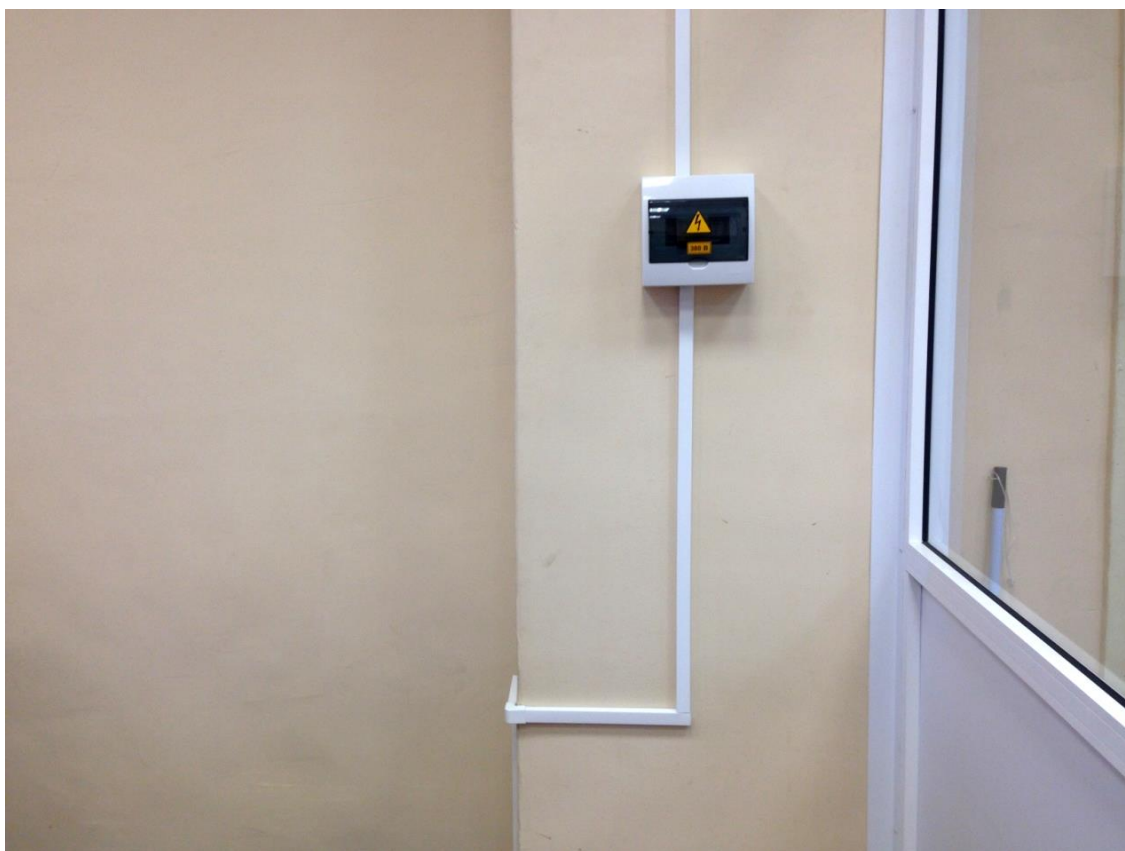


Рисунок 2.8 – Распределительный щит и кабель-канал 16х25 в лаборатории «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях»

Ниже приведены расчеты электроосвещения, выбор уставок расцепителей автоматических выключателей и сечений кабельных линий, используемых в системе электроснабжения лаборатории.

## 2.4. Выбор коммутационных аппаратов по току нагрузки

Расчет электрических нагрузок сведем в таблицу 2.1

Таблица 2.1 – Расчет электрических нагрузок

Электро-приемники	Кол-во	Номинальная мощность P, кВт	Номинальная мощность общая P, кВт	Коэффициент мощности трансформатора cosφ	Коэффициент реактивной мощности трансформатора tgφ
Стенд №2	1	0,25	0,25	0,7	1,02
Итого:	1	0,25	0,25	0,7	1,02

Окончание таблицы 2.1

Электроприемники	Кол-во	Расчетная активная мощность, P <sub>p</sub> , кВт	Расчетная реактивная мощность Q <sub>p</sub> , квар	Полная расчетная мощность S <sub>p</sub> , кВА	Расчетный ток I <sub>p</sub> , А
Стенд №2	1	0,25	0,26	0,36	7
Итого:	1	0,25	0,26	0,36	7

При выборе уставок расцепителей учитываем, что номинальный ток расцепителя должен быть не менее расчетного тока линии.

Далее определяем сечения проводников. По условиям нагрева длительным расчетным током I<sub>p</sub> допустимый ток в проводнике I<sub>пр</sub> определяется из выражения:

$$I_p \leq I_{пр} = K_{п} \cdot I_{дл}, \text{ А} \quad (2.1)$$

где I<sub>дл</sub> – табличное значение длительного допустимого тока в проводнике, K<sub>п</sub> – поправочный коэффициент, учитывающий условия прокладки проводов и кабелей [9, табл. П4.4-П4.6 с. 207].

Согласно ПУЭ предельное допустимое соотношение между током срабатывания защитного аппарата I<sub>с.з</sub> и длительно допустимым током по нагреву I<sub>пр</sub> для проводников силовых и осветительных сетей имеет вид

$$I_{пр} \geq k_3 \cdot I_{с.з} \quad (2.2)$$

где k<sub>3</sub> – коэффициент защиты [9, табл. 8.1 с.89]. Выбор низковольтного оборудования и проводников по нагреву оформлен в виде таблицы 2.2.

Таблица 2.2 – Выбор сечения кабелей по условиям нагрева

Электроприем- ник	$I_p$ , А	Тип автомати- ческого выключателя	Уставка расцепителя выключателя, А	Коэффициент защиты $k_3$	Расчетный ток $I_{пр} \geq k_3 \cdot I_{с.з}$ А
Стенд №2	8	ВА47-29 3Р	10	1	10
Щит ЩРН-8	16	ВА 47-29 3Р	16	1	16

Окончание таблицы 2.2

Характеристика условий прокладки	Поправочный коэффициент на условия прокладки, $K_p$	Расчетный ток $I_{пр} = K_p \cdot I_{дл}$ , А	Допустимый ток при нормальных условиях, $I_{дл}$ , А	Марка кабеля	Сечение и количество жил
в коробе +25°C, пучком 1 кабель	0,75	20	27	ПВС	5х2,5

На рисунке 2.9 приведена однолинейная схема распределительного электрощита в лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях».

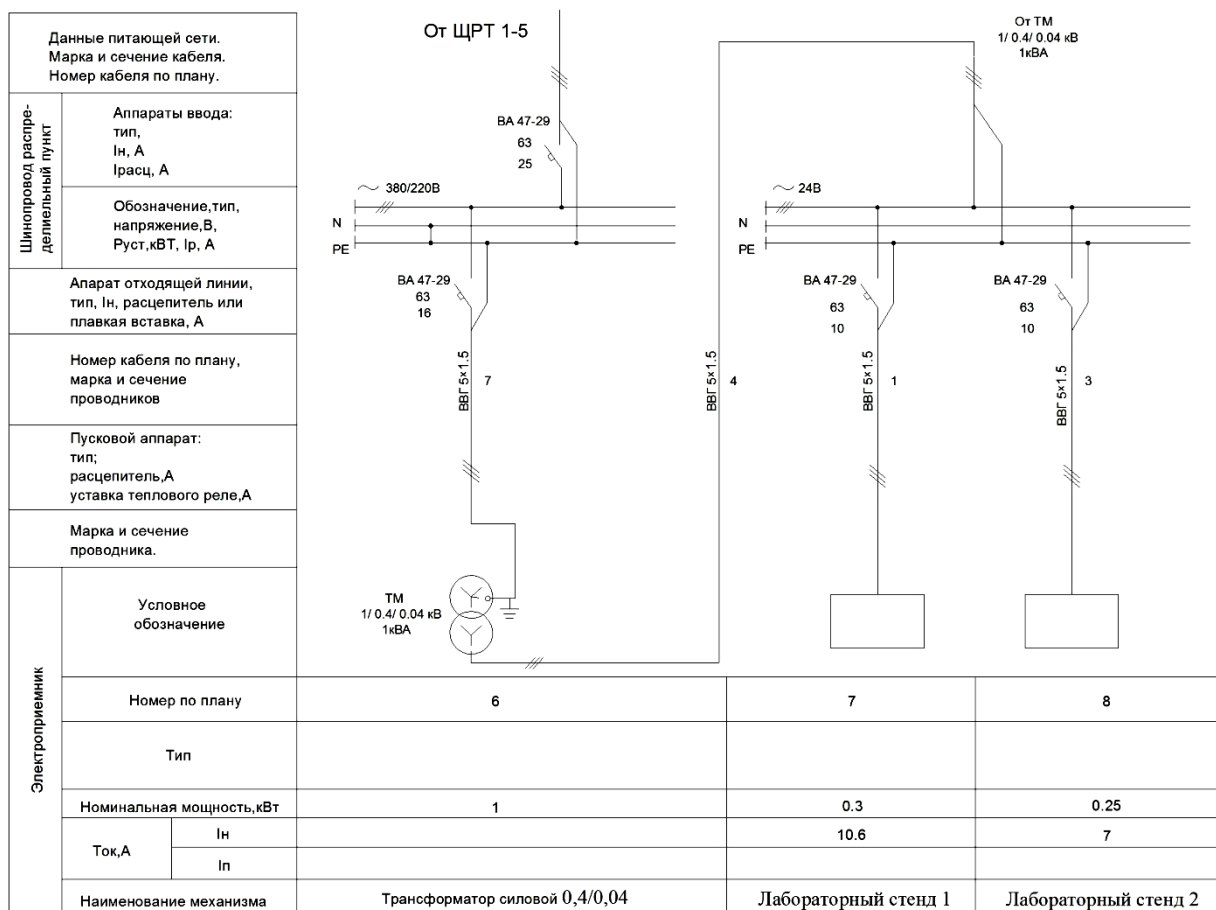


Рисунок 2.9 – Однолинейная схема распределительного электрощита в лаборатории «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях»

На рисунке 2.10 представлен внешний вид распределительного щита в лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях».



Рисунок 2.10 – Внешний вид распределительного щита в лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях»

## **2.5. Расчет и выбор освещения**

Электроосвещение лаборатории выполнено светильниками с люминесцентными лампами типа ЛПО-46 4x18. Питание осветительной сети лаборатории выполнено кабелем ВВГ и осуществляется от действующей осветительной сети.

В лаборатории принята система из общего равномерного искусственного и естественного освещения. Норма освещенности  $E$  для лаборатории составляет 100 лк. Длина помещения составляет  $A=6$  м, ширина  $B=2,6$  м.

Расчет общего равномерного освещения проводим методом коэффициента использования светового потока.

Составляем план расположения светильников рисунок 2.11.

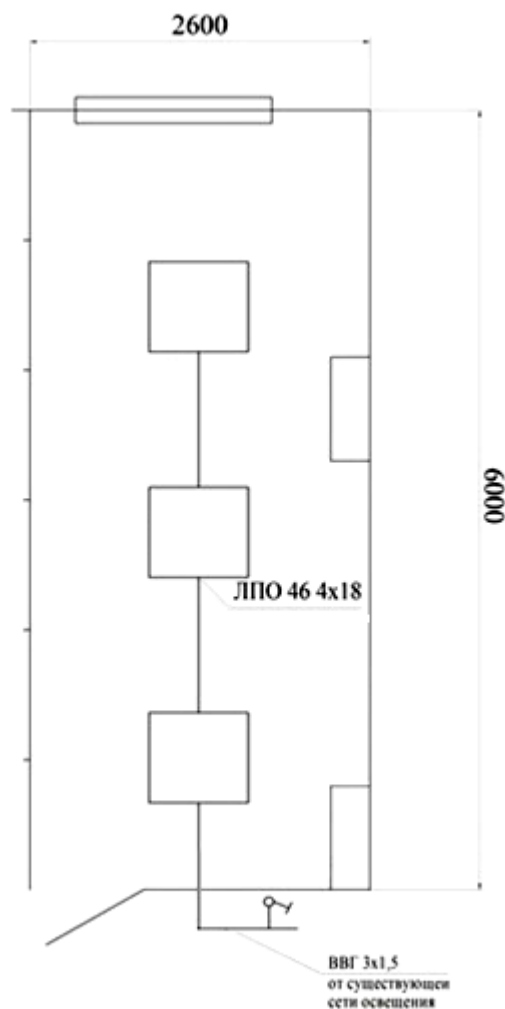


Рисунок 2.11 – План расположения светильников ЛПО-46 4x18 в лаборатории «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях»

Полное число светильников  $n=3$ , число рядов светильников  $N_p = 1$ , число светильников в ряду  $N_a = 3$ .

Расстояние между центрами светильников в ряду  $L_a$ :

$$L_a = A/N_a = 6/3 = 2 \text{ м} \quad (2.3)$$

Расстояние между рядами светильников  $L_b$ :

$$L_b = B/N_p = 2,6/1 = 2,6 \text{ м} \quad (2.4)$$

Высота подвеса светильника над рабочей поверхностью:

$$h = H - h_{pn} = 4 - 0,8 = 3,2 \text{ м} \quad (2.5)$$

где  $H$  – высота помещения,  $h_{pn}$  – высота рабочей поверхности.

Определяем индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h(A+B)} = \frac{6 \cdot 2,6}{3,2 \cdot (6+2,6)} = 0,56 \quad (2.6)$$

где  $S$  – площадь помещения.

Определяем тип кривой силы света светильника:

Тип кривой силы света – Д [10, табл.5.28 с.127].

Определяем коэффициент использования светового потока:

$K_{\text{и}} = 0,45$  [10, табл.6.4 с.141]

Определяем коэффициент запаса  $K_3 = 1,5$  [10, табл.3.4 с.42]

Рассчитываем необходимый световой поток светильников:

$$F = \frac{EK_3Sz}{nK_{\text{и}}} = \frac{100 \cdot 1,5 \cdot 15,6 \cdot 1,15}{3 \cdot 0,45} = 1993 \text{ лм} \quad (2.7)$$

где  $z = 1,15$  – коэффициент неравномерности освещенности для люминесцентных ламп.

По найденному потоку светильника определяем световой поток одной лампы равный 664 лм и подбираем стандартную лампу ЛД-18 с  $F_{\text{л}} = 880$  лм.

## **2.6. Расположение оборудования в лаборатории**

Схема расположения оборудования в лаборатории электробезопасности приведена на рисунке 2.12.



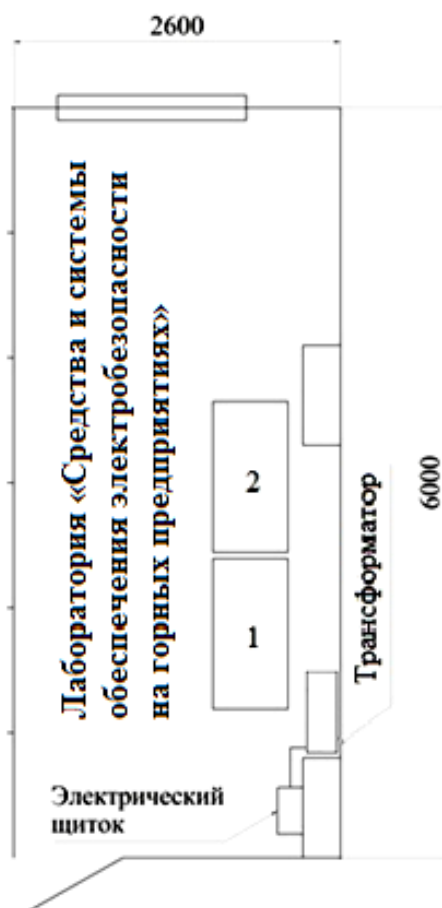


Рисунок 2.12 – Расположение оборудования в лаборатории

В лаборатории «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях», показанной на рисунке 2.12, расположены стенды:

- 1) Стенд «Исследование эффективности защитного заземления и зануления в трехфазных сетях».
- 2) Стенд «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках».

На рисунке 2.13 представлены готовые стенды для выполнения лабораторных работ.

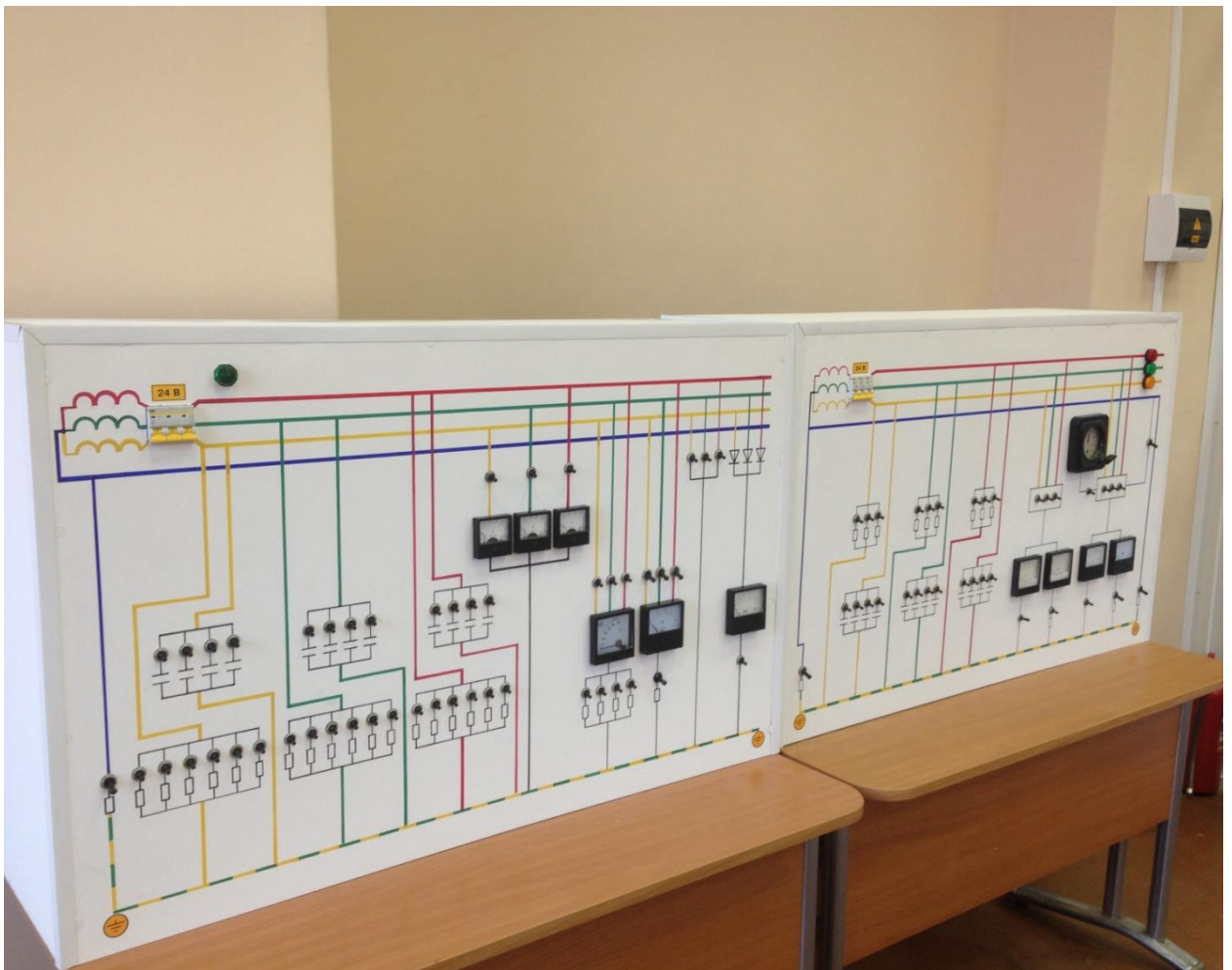


Рисунок 2.13 – Готовые стенды для выполнения лабораторных работ

На рисунке 2.14 приведен общий вид лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях» в аудитории №309а.



Рисунок 2.14 – Общий вид готовой лаборатории

Стенды выполнены в одном стиле, что улучшает внешний вид лаборатории, способствует лучшему восприятию информации. Белый цвет лицевой панели стендов визуально облегчает считывание информации с приборов, оборудования и сигнальных ламп. Так же на стенде присутствуют цветные обозначения каждой фазы, что позволяет легче выполнять работу.

Размеры и оснащённость лаборатории позволяют одновременно выполнять различные лабораторные работы группе студентов от 5 до 10 человек.

Лаборатория в аудитории №309 а, по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях», отвечает современным стандартам, предъявляемым к качеству, надежности и безопасности оборудования используемого в процессе подготовки и обучения студентов.

## **2.7. Проектирование и расчет силового трансформатора**

Мощность трансформатора определяется как сумма мощностей всех вторичных обмоток. Мощность любой из вторичных обмоток определяется из произведения напряжения на вторичной обмотке и снимаемого с нее тока (напряжение для расчета берется в вольтах, а ток – в амперах).

Исходя из полученной номинальной мощности трансформатора, вычисляется минимальное сечение сердечника (S) (измеряется в квадратных сантиметрах).

При выборе сердечника руководствуются шириной центральной пластины сердечника и толщиной набора. Площадь сечения сердечника определяется как произведение ширины пластины на толщину набора.

$$S_{\text{серд}} = L \cdot T \quad (2.8)$$

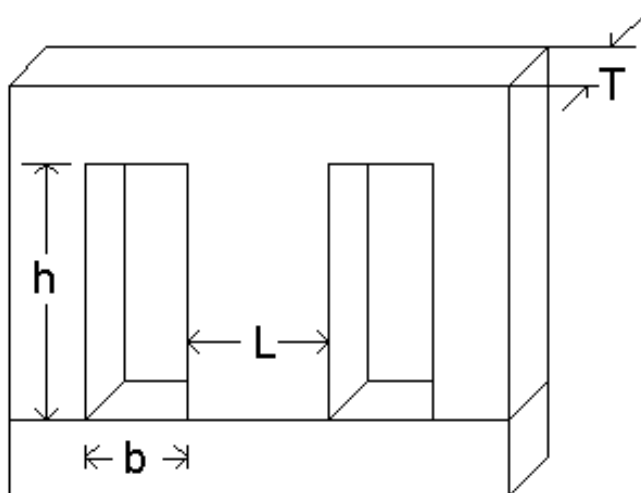


Рисунок 2.15 – Расчет сечения сердечника трансформатора

Также сразу рассчитывается площадь окна выбранного сердечника. Эта величина используется для проверки коэффициента заполнения окна (иными словами, поместятся все обмотки на данном трансформаторе, или нет).

$$S_{\text{окна}} = h \cdot b \quad (2.9)$$

После чего вычисляется коэффициент N. Он показывает, сколько витков нужно намотать для получения напряжения на обмотке в 1 В.

Дальнейший расчет сводится к умножению напряжения на обмотке. Эта процедура для всех обмоток одинакова.

Далее – рассчитывается рабочий ток в сетевой обмотке, исходя из мощности трансформатора и сетевого напряжения.

Диаметр провода в обмотках рассчитывается по приведенным формулам (при этом ток берется в миллиамперах).

В конце расчета проверяется коэффициент заполнения окна обмотками. Если этот коэффициент не превышает 0,5 – значит можно приступить к намотке, в противном случае используется сердечник с большей площадью сечения и расчет производится заново.

Сборка сердечника у силового трансформатора производится «в перекрышку», данный способ представлен на рисунке 2.16.

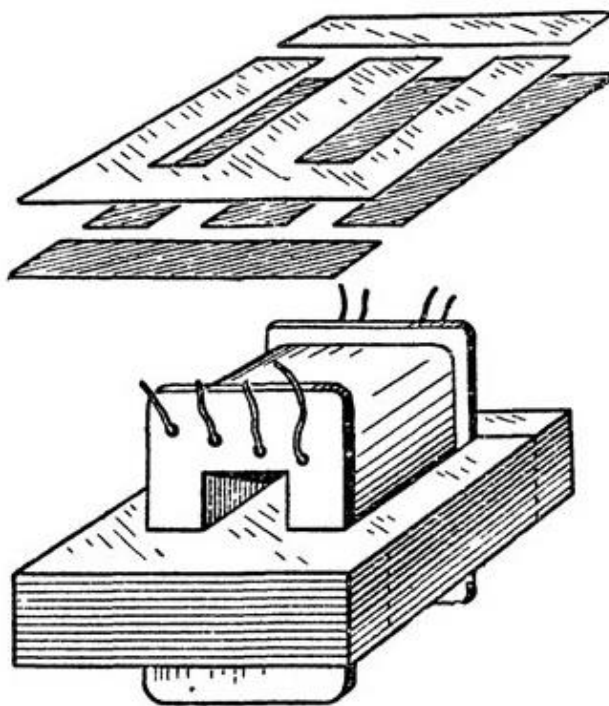


Рисунок 2.16 – Сборка сердечника силового трансформатора

При проектировании лабораторного стенда, был использован трехфазный трансформатор. Так как изначально не удалось подобрать готовый трансформатор с нужными характеристиками, трансформатор был изготовлен самостоятельно. Использовались три однофазных трансформатора с номинальным напряжением первичной обмотки равной 220 В. В конечном итоге трансформатор получил выходное напряжение 24 В. Смоделированная схема стенда в среде Multisim, позволила определить максимальный ток который будет использован в лабораторных работах, он составил ~ 20А.

При известном напряжении и наибольшем токе, который должна давать вторичная обмотка ( $U_2$  и  $I_2$ ), считается мощность вторичной цепи:

$$P_2 = U_2 \times I_2 = 24 \times 20 = 480 \text{ ВА} \quad (2.10)$$

Далее, принимается КПД трансформатора небольшой мощности (равным около 80 %), первичная мощность определяется по формуле:

$$P_1 = \frac{P_2}{0.8} = \frac{480}{0.8} = 600 \text{ ВА} \quad (2.11)$$

Мощность передается из первичной обмотки во вторичную, через магнитный поток в сердечнике, поэтому от значения мощности  $P_1$  зависит площадь поперечного сечения сердечника  $S$ , которая возрастает при увеличении мощности. Для сердечника из нормальной трансформаторной стали рассчитываем  $S$ :

$$S = \sqrt{P_1} = \sqrt{600} = 24,5 \text{ см}^2 \quad (2.12)$$

где  $S$  – в квадратных сантиметрах, а  $P_1$  – Вт.

По значению  $S$  определяется число витков  $W'$  на 1 В. При использовании трансформаторной стали:

$$W' = \frac{50}{S} = \frac{50}{24,5} = 2,04 \quad (2.13)$$

Далее рассчитывается число витков обмоток:

$$W_2 = U_2 \times W' = 24 \times 2,04 = 49 \quad (2.14)$$

Для проектируемого трансформатора выбран провод «ПБД–1,56». Обмотка укладывается в два слоя.

Чтобы обеспечить безопасность ведения лабораторных работ, трансформатор помещен в металлический корпус, с решеткой по бокам для лучшего охлаждения.

Внешний вид трансформаторов в спроектированном корпусе и общий вид представлен на рисунках 2.17 и 2.18.



Рисунок 2.17 – Внешний вид корпуса для трансформаторов



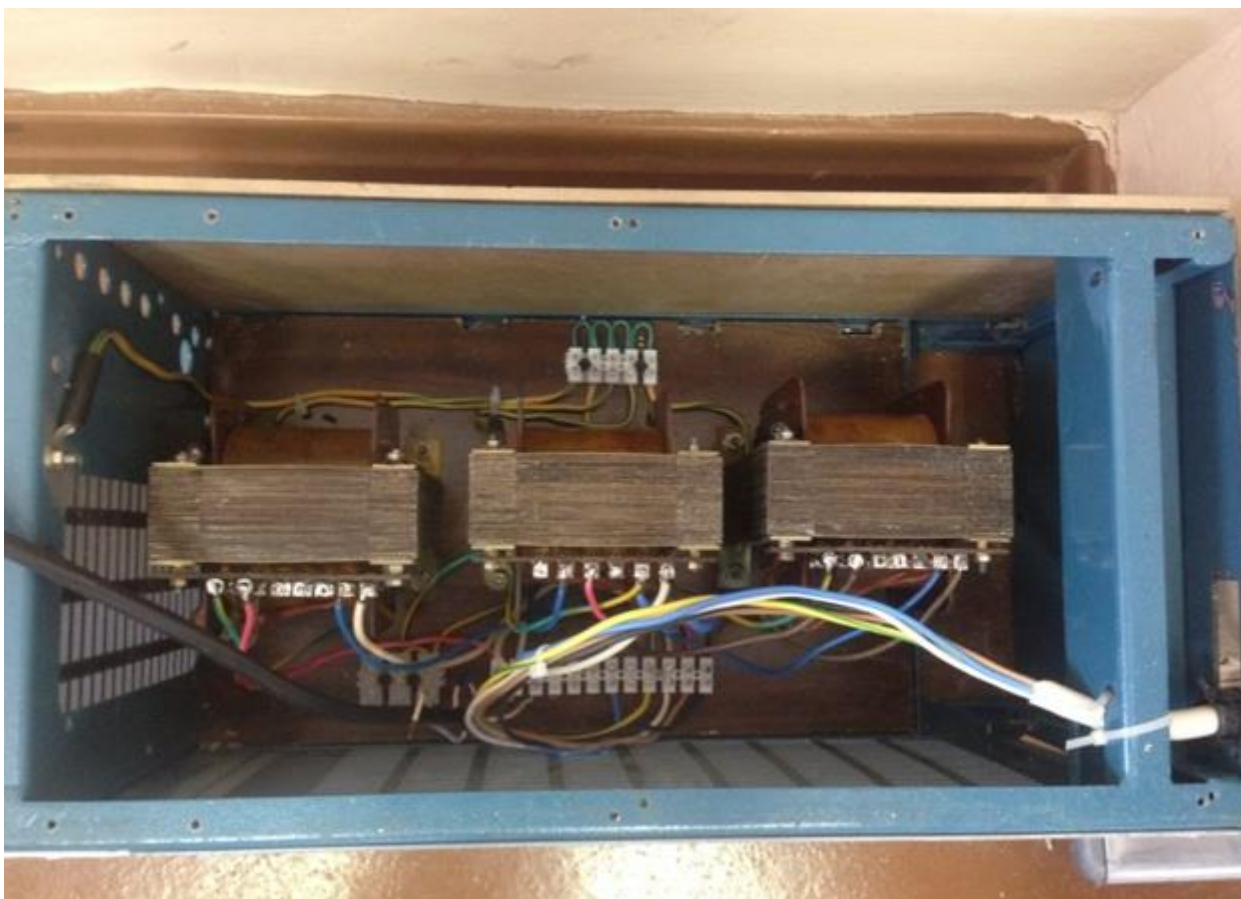


Рисунок 2.18 – Внешний вид внутри корпуса

### **3. Разработка методического обеспечения «Контроль изоляции в электроустановках»**

#### **3.1. Описание конструкции стендов**

Стенд «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» и «Контроль изоляции в электроустановках».

Рабочее место - СФУ, Институт горного дела, геологии и геотехнологии, учебный корпус, кафедра ЭГМП, аудитория №309а.

Внешний вид лицевой панели лабораторного стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» и «Контроль изоляции в электроустановках» показан на рисунке 3.1.

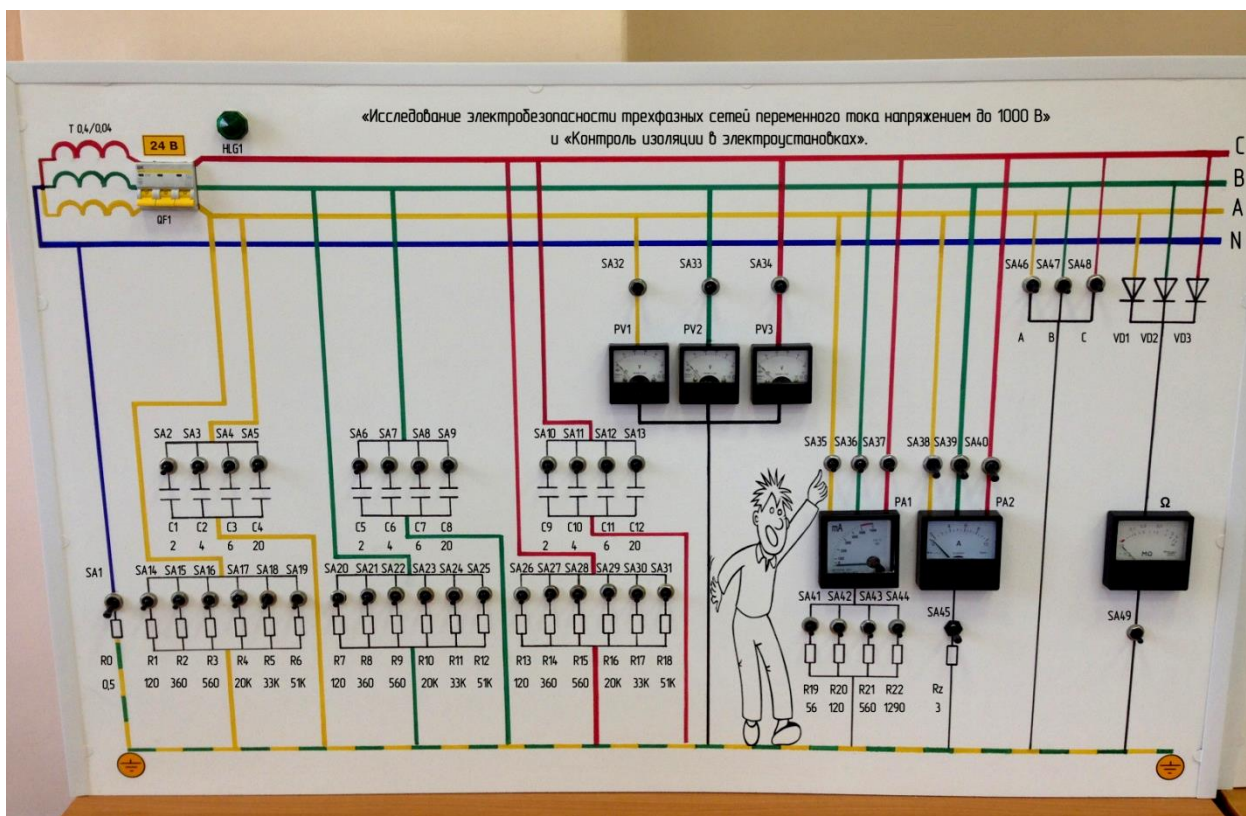


Рисунок 3.1 – Лицевая панель стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

На рисунке 3.2 показан внешний вид обратной стороны панели стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» и «Контроль изоляции в электроустановках».

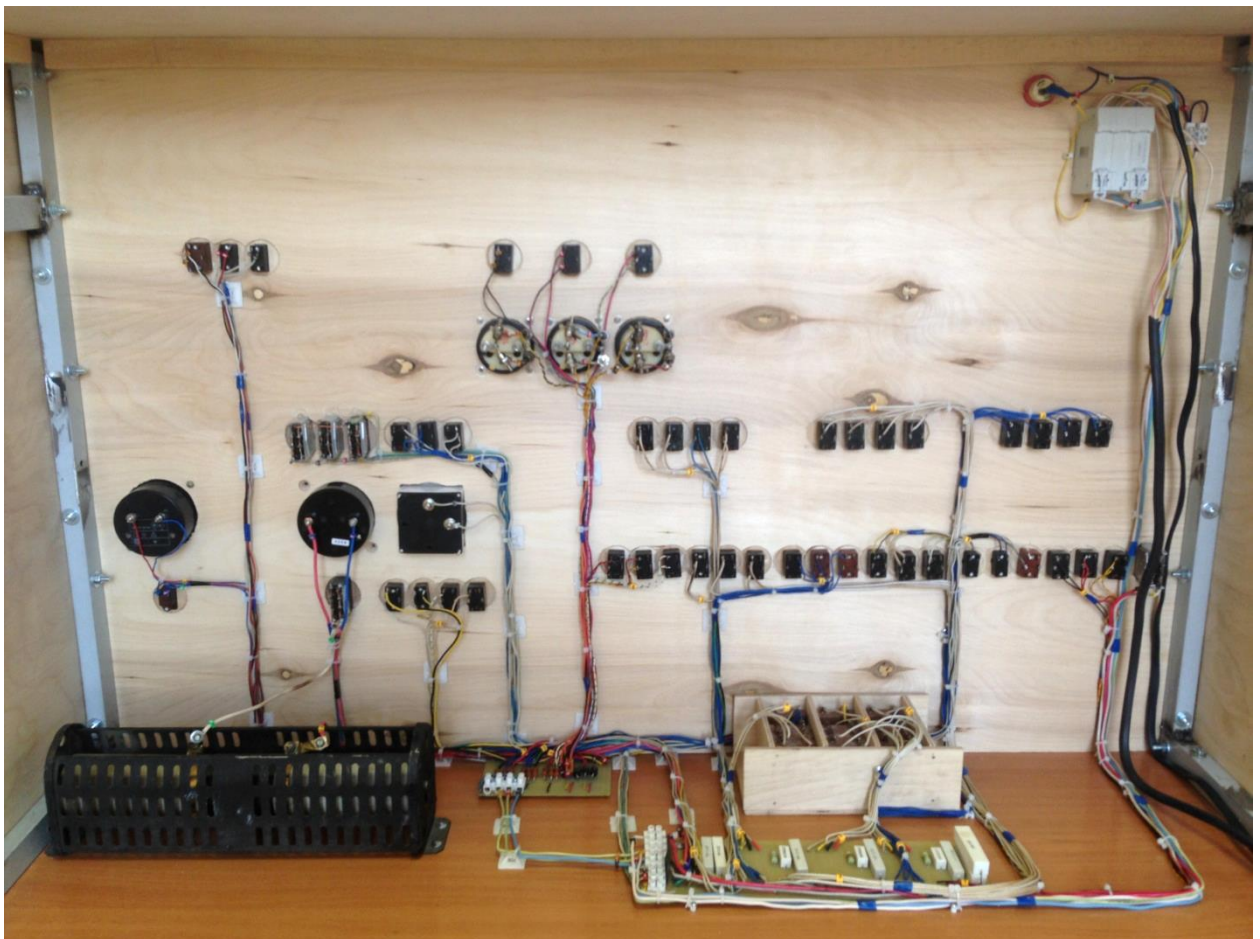


Рисунок 3.2 – Внешний вид обратной стороны панели стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

На рисунке слева в железном корпусе представлена нагрузка, которая собрана из блока сопротивлений. При помощи цифрового мультиметра было определено, какое количество проволоки необходимо, чтобы получить нужное сопротивление в 3 Ом. Контакт с подводящими проводами выполнен из болтовых зажимов, которые зажимают проволоку между двумя шайбами.

Полученная сборка помещена в металлический корпус ради соображения безопасности.

Общий вид стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках» показан на рисунке 3.3.

Стенды изготовлены из современных экологически чистых материалов. Каждый из двух стендов представляет собой короб, установленный на учебной парте. Короб имеет размеры 1200х750х280. Лицевая панель стенда выполнена из ЛДСП. Общие габаритные размеры стенда 1200х600х1600.



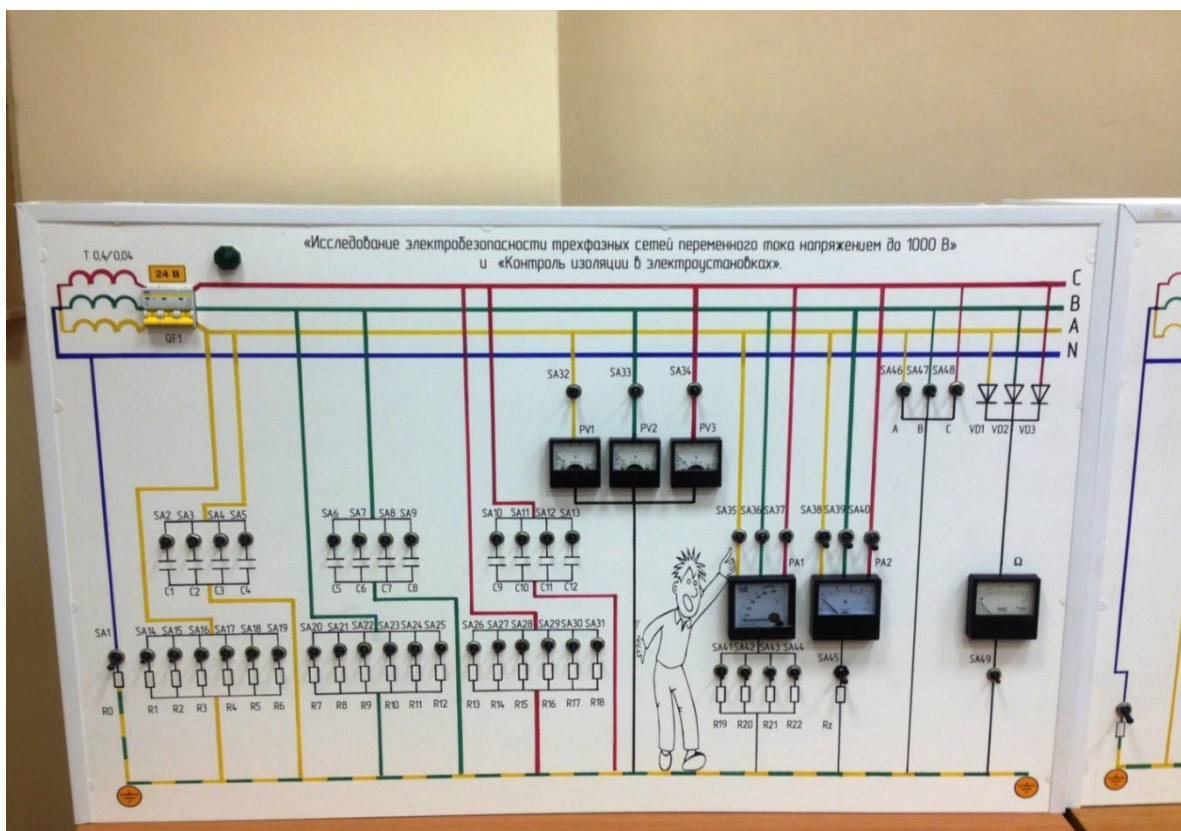


Рисунок 3.3 – Общий вид стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

На лицевой панели управления стендов «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» и «Контроль изоляции в электроустановках» расположены:

- 1) Автоматический выключатель QF1.
- 2) Тумблер 2П (SA1-SA49).
- 3) Лампа сигнализации (HLG1).
- 4) Вольтметр (pV1-pV3).
- 5) Амперметр (pA1-pA2).
- 6) Мегомметр ПУ-Ф4106.

Доступ к токоведущим частям полностью ограничен конструктивным исполнением стендов из изоляционного материала. Все токоведущие части стендов выполнены в двойной изоляции.

Помещение, в котором установлены стенды, имеет окрашенные в светло-бежевый цвет стены. Пол – деревянный, покрытый листами ДВП и окрашен светло-коричневой краской, способ уборки - влажный.

Система отопления - централизованное, вид теплоносителя - горячая вода до 85<sup>0</sup>С.

Помещение в котором установлены стенды имеет температуру окружающего воздуха +25<sup>0</sup>С при относительной влажности 45%. Вентиляция помещения - естественная. С помощью окон обеспечивается кратность воздухообмена при скорости движения воздуха до 0,5 м/с согласно ГОСТ 30494.

Электроснабжение: стенды подключены к сети переменного тока напряжением 24 В. На входе питания установлен автоматический выключатель, который выполняет функции выключателя и защиты при коротких замыканиях и перегрузках. Питание стендов выполнено путем подключения гибкого кабеля с двойной изоляцией.

Электробезопасность: эксплуатационному и ремонтному персоналу запрещается производить ремонтные работы стендов, без отключения вводного автоматического выключателя на стенде, и в распределительном электрощитке аудитории №309а.

### **3.2. Создание методического обеспечения и указания для выполнения работы**

#### **1. Цель работы**

1.1. Ознакомление с видами, методами и нормативными положениями контроля состояния изоляции электроустановок.

1.2. Практическое измерение сопротивления изоляции в сети с изолированной нейтралью.

#### **2. Теоретическая часть**

Возможность поражения электрическим током один из наиболее часто встречающихся опасных производственных факторов. Анализ смертельных несчастных случаев на производстве показывает, что на долю поражения электрическим током приходится до 40%. Вследствие чего задача обеспечения электробезопасности стоит на первом месте в курсах «Безопасность жизнедеятельности» и «Производственная безопасность».

Одним из способов обеспечения электробезопасности является применение надлежащей изоляции (ПУЭ).

**Изоляция** – это технический диэлектрик, в котором под действием электрического напряжения свободные электроны создают ток утечки. Следовательно, с ростом напряжения, приложенного к изоляции, его сопротивление уменьшается. При этом ток утечки возрастает. Снижение сопротивления изоляции может быть обратимым (при увлажнении) и необратимым (старение изоляции). На снижение сопротивления изоляции влияют также: загрязнение, химическое воздействие и естественное старение изоляции (изменение физической и химической структуры материала с течением времени). При этом изменение свойств изоляции протекает медленно и носит характер неравномерно-распределенного дефекта по всему объему диэлектрика. В месте дефекта появляются частичные разряды тока и выгорание изоляции, что может привести к возникновению короткого замыкания (пробой изоляции), электротравме и пожару.

Состояние изоляции в значительной мере определяет степень безопасности эксплуатации электроустановок. Сопротивление изоляции в сетях с изолированной нейтралью определяет ток через человека (рисунок 1). При глухозаземленной нейтрали ток через человека не зависит от сопротивления изоляции (рисунок 2).

При плохом сопротивлении изоляции часто происходят ее повреждения, что приводит к замыканию на землю (корпус) и к коротким замыканиям. При замыкании на корпус возникает опасность поражения людей электрическим током, так как нетоковедущие части (корпус), с которыми человек нормально имеет контакт, оказываются под напряжением.

Чтобы предотвратить замыкание на землю и другие повреждения изоляции, при которых возникает опасность поражения людей электрическим током, а также выходит из строя оборудование, необходимо проводить контроль изоляции.

**Контроль изоляции** – это измерение сопротивления изоляции токоведущих частей электроустановок с целью поддержания ее на уровне, обеспечивающем электробезопасность и предупреждение замыканий на землю и на корпус.

С целью проверки соответствия сопротивления изоляции установленным нормам, проводится периодический и постоянный контроль изоляции.

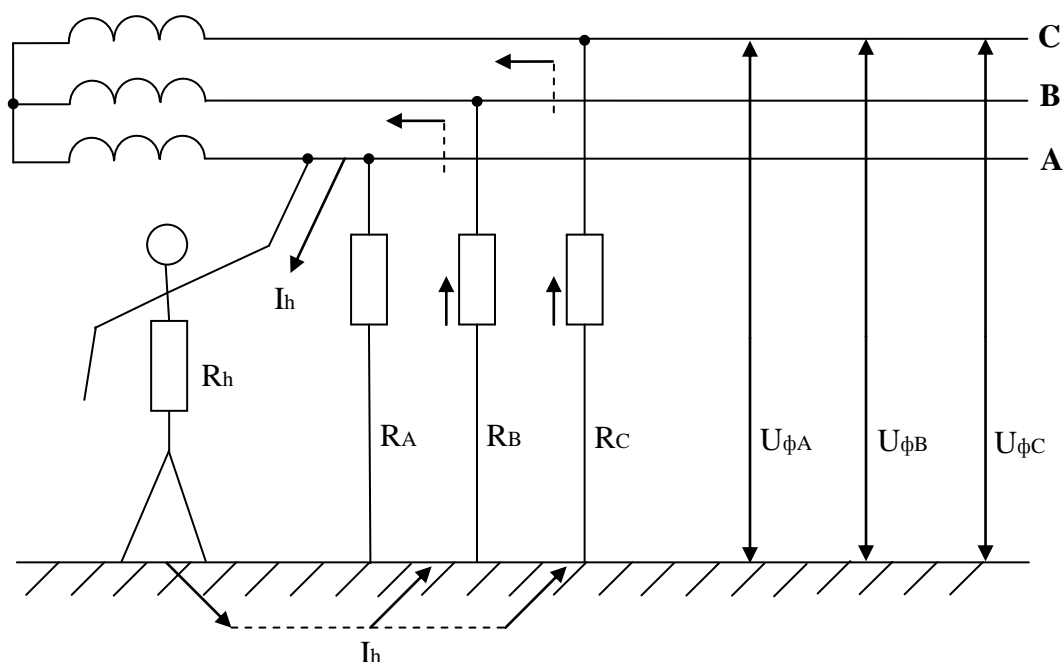


Рисунок 1. Электрический ток через человека в сети с изолированной нейтралью.

$$I_h = \frac{U_{\phi}}{\left(R_h + \frac{R_{из}}{3}\right)}, A$$

где:  $I_h$  – ток через человека,  $U_{\phi}$  – фазное напряжение,  $R_h$  – сопротивление человека,  $R_A = R_B = R_C = R_{из}$  – сопротивления изоляции фаз A, B, C.

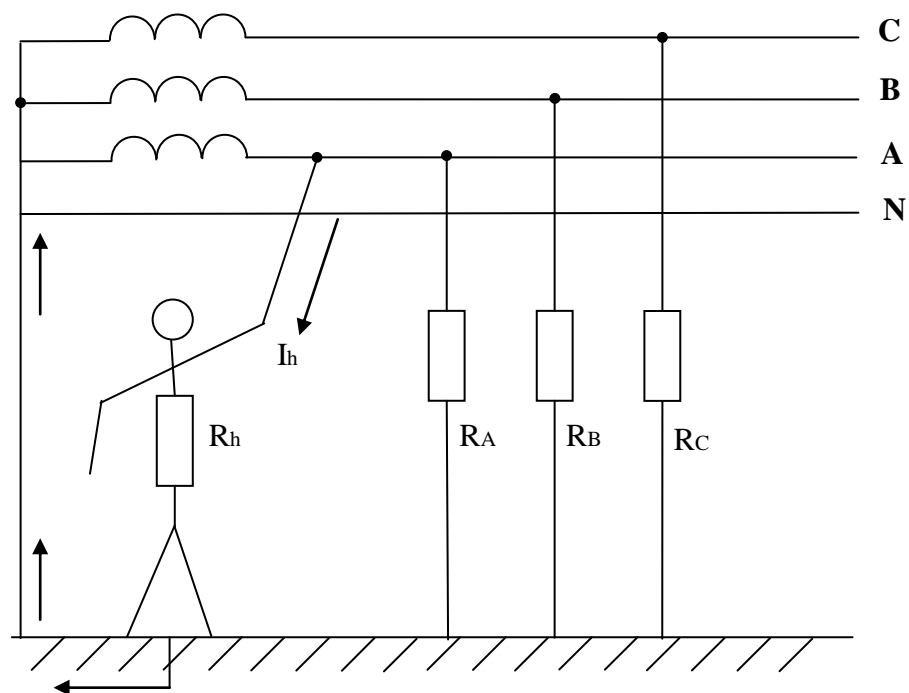


Рисунок 2. Электрический ток через человека в сети с глухозаземленной нейтралью: N – нулевой провод.

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h}, A$$

## 2.1. Периодический контроль изоляции

**Периодический контроль изоляции** – измерение ее сопротивления при приемке электроустановки после монтажа, периодически в сроки, устанавливаемые правилами (для сетей с напряжением до 1000 В – не реже одного раза в год) или в случае обнаружения дефектов. Измерение согласно правилам должно производиться на отключенной установке. При таком измерении можно определить сопротивление изоляции отдельных участков сети, электрических аппаратов, трансформаторов, электродвигателей и тому подобное.

Измеряется сопротивление изоляции каждой фазы относительно земли и между каждой пары фаз на каждом участке между двумя последовательно установленными аппаратами защиты или за последним защитным аппаратом (автоматическим выключателем, плавным предохранителем). Сопротивление изоляции каждого участка в сетях напряжением до 1000 В должно быть не ниже указанных величин (таблица 1).

Минимально допустимые сопротивления изоляции электропроводок (ПУЭ, ПТЭ, ПТБ).

Таблица 1.

№	Наименование испытываемой изоляции	$R_{из}$ , МОм
1	Электроустановки на напряжении выше 12 В переменного тока	0,5
2	Ручной электроинструмент и переносные светильники	0,5
3	Силовые и осветительные электропроводки	0,5
4	Электродвигатели переменного тока	0,5
5	Электроустановки $U > 1000$ В в помещениях II-III кл.	1,0

Периодический контроль изоляции осуществляется мегомметром.

Измеренное таким образом сопротивление изоляции отдельных участков сети не может служить критерием безопасности, так как ток замыкания на землю определяется сопротивлением изоляции всей сети, относительно земли. В результате таких измерений выявляются участки с дефектной изоляцией, требующие профилактических мероприятий, для предупреждения замыкания на землю и коротких замыканий.

Достоинства периодического контроля:

- возможность измерения конкретных величин сопротивления изоляции фаз и между фазами;
- после сравнения измеренной величины сопротивления изоляции с минимально допустимым (таблица 1) делается вывод о возможности эксплуатации электроустановки.

Недостатки периодического контроля:

- возможность эксплуатации электроустановок в течение некоторого времени с пониженным сопротивлением изоляции;
- измеренное сопротивление изоляции только отдельных участков сети, а это не может служить критерием безопасности всей сети.

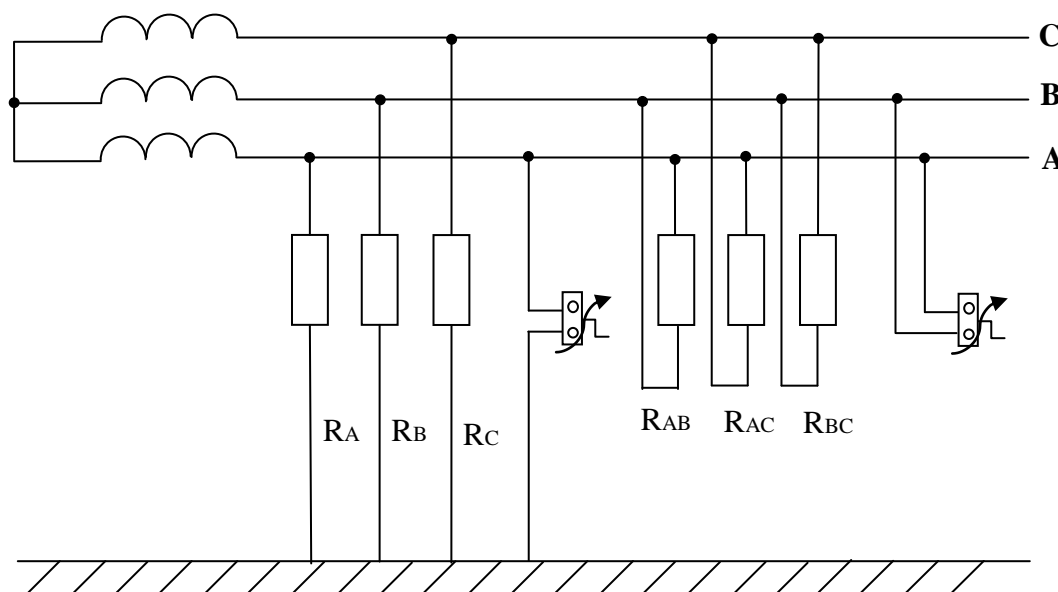


Рисунок 3. Схема измерения сопротивления изоляции мегомметром:  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$  – сопротивления изоляции фаз A, B и C;  $R_{AB}$ ,  $R_{AC}$ ,  $R_{BC}$  – межфазные сопротивления изоляции между фазами AB, AC и BC, соответственно.



## 2.2. Постоянный контроль изоляции

Постоянный контроль изоляции нашел широкое применение в электросетях и изолированной нейтралью и представляет собой контроль сопротивления изоляции под рабочим напряжением в течение всего времени работы электроустановок без отключения от сети.

Постоянный контроль позволяет:

- выявить повреждения, дефекты, не обнаруженные во время периодических испытаний;
- предотвратить искрообразование в местах плохих контактов, которое может привести к пожару, взрыву или электротравме;
- в сетях с изолированной нейтралью предотвращается возможность опасных замыканий на землю.

Устройство постоянного контроля изоляции предусматривается лишь в сети с изолированной нейтралью до 1000В.

Наиболее широкое применение для постоянного контроля нашли схемы:

- 3-х вентиляй;
- 3-х вольтметров.

## 2.3. Схема трех вентиляй

Вентильные схемы контроля изоляции измеряют сопротивление изоляции выпрямленным током. На рисунке 4 показана простейшая вентильная схема – схема трех вентиляй.

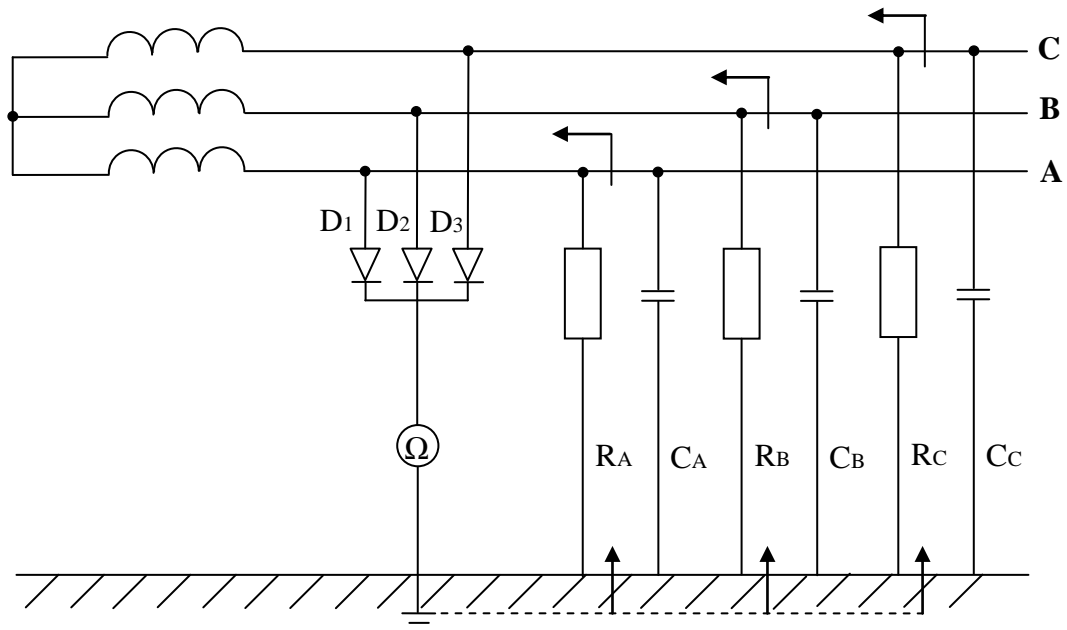


Рисунок 4.Схема трех вентиляй:  $\Omega$  - прибор измерения сопротивления.

При положительной полуволне напряжения в фазе А ток проходит через вентиль  $D_1$ , указатель  $\Omega$ , заземлитель и сопротивления изоляции двух других фаз к источнику. Полярность фаз изменяется, и поэтому постоянный ток проходит поочередно через вентили  $D_1$ ,  $D_2$  и  $D_3$ , через указатель  $\Omega$  и сопротивление изоляции.

Указатель  $\Omega$  представляет собой магнитоэлектрический прибор, через который проходит ток, выпрямленный тремя вентилями. Среднее значение этого тока зависит от общего сопротивления  $R$ , определяемого по формуле:

$$R = \frac{R_A R_B R_C}{R_A R_B + R_B R_C + R_A R_C}, \text{ Ом}$$

При замыкании на землю указатель отключается и стрелка показывает  $\infty$ , как исправную изоляцию. Указатель градуируется в МОм. Последовательно с указателем может быть включено реле, замыкающее сигнальную цепь при недопустимо низком сопротивлении (включается световой сигнал).

Из схемы (рисунок 4) следует, что указатель показывает общее сопротивление изоляции всей сети, включая источник и потребители тока. Полученное таким образом сопротивление изоляции позволяет судить о степени безопасности эксплуатации данной сети.

Нормы, приведенные в ПТЭ, не могут служить в данном случае критерием исправности изоляции, так как они заданы не для всей сети, а только для отдельных участков.

Судить об исправности или о появлении дефектов изоляции по результатам можно лишь путем сопоставления с данными предыдущих измерений. Если результаты ряда измерений совпадают, то изоляция исправна. Если же обнаружено резкое снижение сопротивления изоляции по сравнению с данными предыдущих измерений, это указывает на наличие дефектов изоляции.

#### Достоинства схемы:

- возможность измерения общего сопротивления изоляции всей сети;
- возможность определения уменьшения сопротивления изоляции всей сети.

#### Недостатки схемы:

- не осуществляет самоконтроль, так как при неисправности внутренних цепей прибор показывает  $\infty$ , т.е. исправную изоляцию;
- точность измерения зависит от колебания напряжения в сети;
- невозможность определения при уменьшении показаний прибора, какое происходит уменьшение сопротивления изоляции – одной фазы, двух или трех.

## **2.4. Схема трех вольтметров**

Вольтметры включаются в звезду с заземленной нейтральной точкой. Каждый вольтметр показывает напряжение относительно земли той фазы, в которой он подключен.

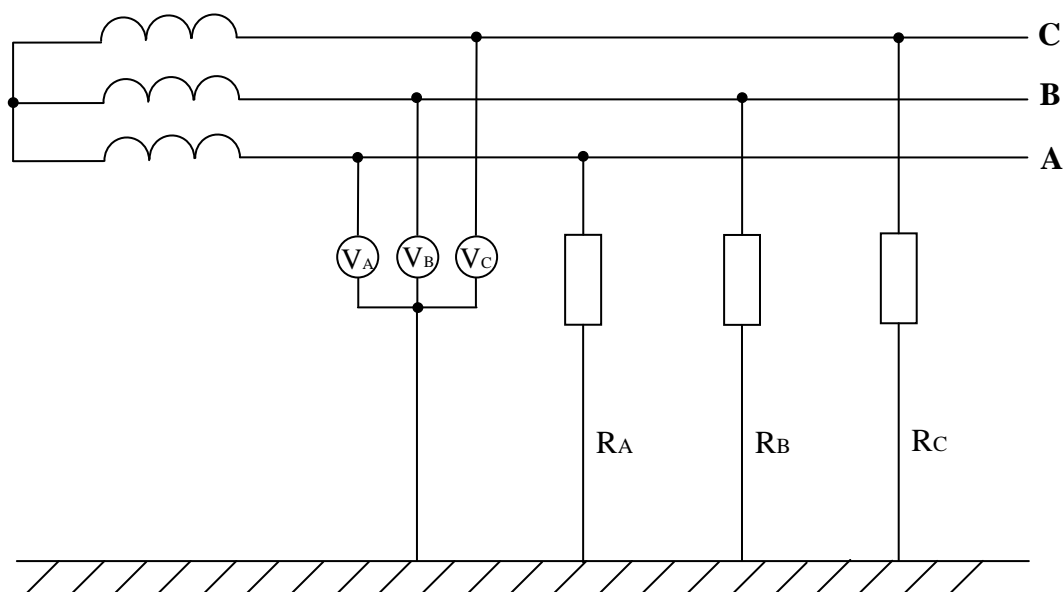


Рисунок 5. Схема трех вольтметров.

При исправной изоляции вольтметры показывают фазное напряжение. В случае глухого замыкания на землю один из них показывает ноль, а два других – линейное напряжение. По показаниям вольтметров можно судить лишь о наличии или отсутствии замыкания на землю, а не о значении сопротивления изоляции. При симметричном снижении изоляции вплоть до короткого замыкания вольтметры исправно будут показывать фазное напряжение. Ухудшение сопротивления одной из фаз приводит к снижению показаний соответствующего вольтметра и к увеличению показаний вольтметров других фаз.

Таким образом, схема трех вольтметров не измеряет сопротивление изоляции и согласно определению, данному в начале, не осуществляет контроль изоляции, а только обнаруживает замыкания на землю.

Схема осуществляет самоконтроль, так как неисправный вольтметр показывает ноль, а два других – фазное напряжение.

### 3. Описание лабораторной установки

В целях безопасности при проведении лабораторных работ, стенд подключен к напряжению 24 В. Все значения активных и ёмкостных сопротивлений подобраны таким образом, чтобы получились токи как при  $U=220$  В, только при безопасном напряжении. В результате на шкалах приборов получаются абсолютно такие же значения как при  $U=220$  В. Активные и ёмкостные сопротивления сети эквивалентные  $U=220$  В используемые в работе представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Значения активных и ёмкостных сопротивлений сети.

R сети при 24 В, кОм	R сети при 220В, кОм	C сети при 24В, мкФ	C сети при 220В, мкФ
$R_4=R_{10}=R_{16}=20$	183,33	$C_1=C_5=C_9=2$	18,33
$R_5=R_{11}=R_{17}=33$	302,5	$C_2=C_6=C_{10}=4$	36,66
$R_6=R_{12}=R_{18}=51$	467,5	$C_3=C_7=C_{11}=6$	54,99
		$C_4=C_8=C_{12}=20$	183,33

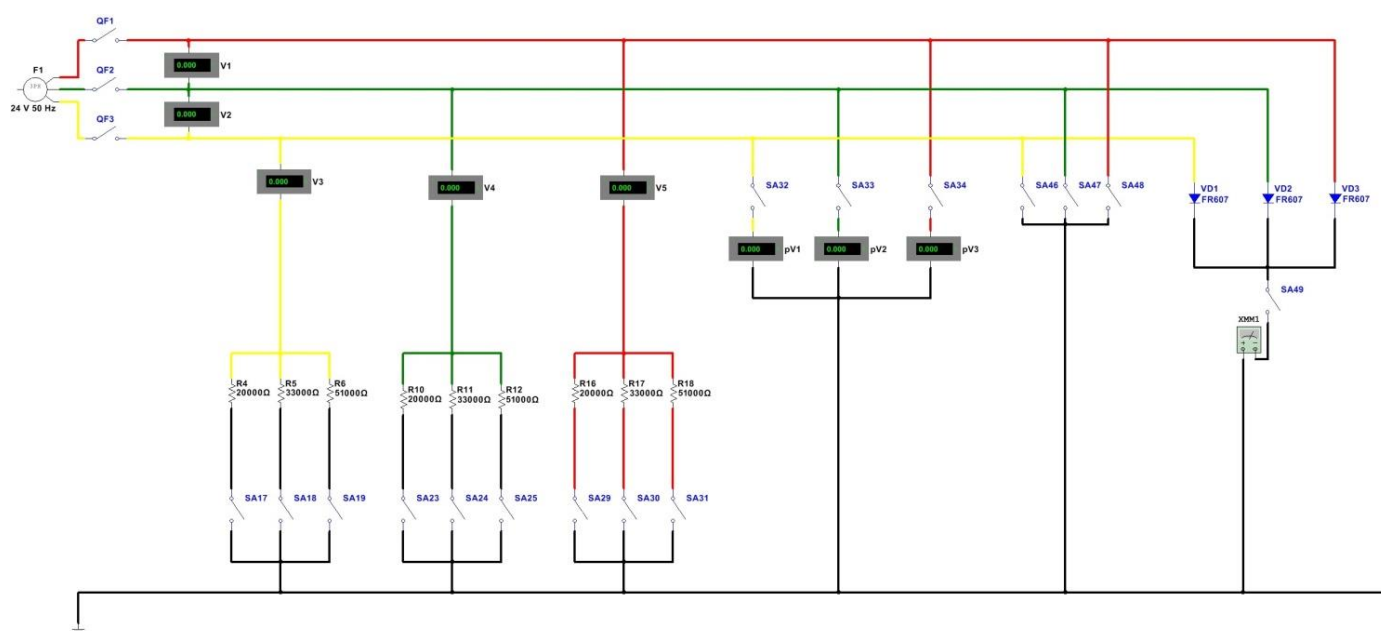


Рисунок 6. Схема лабораторного стенда в среде Multisim.

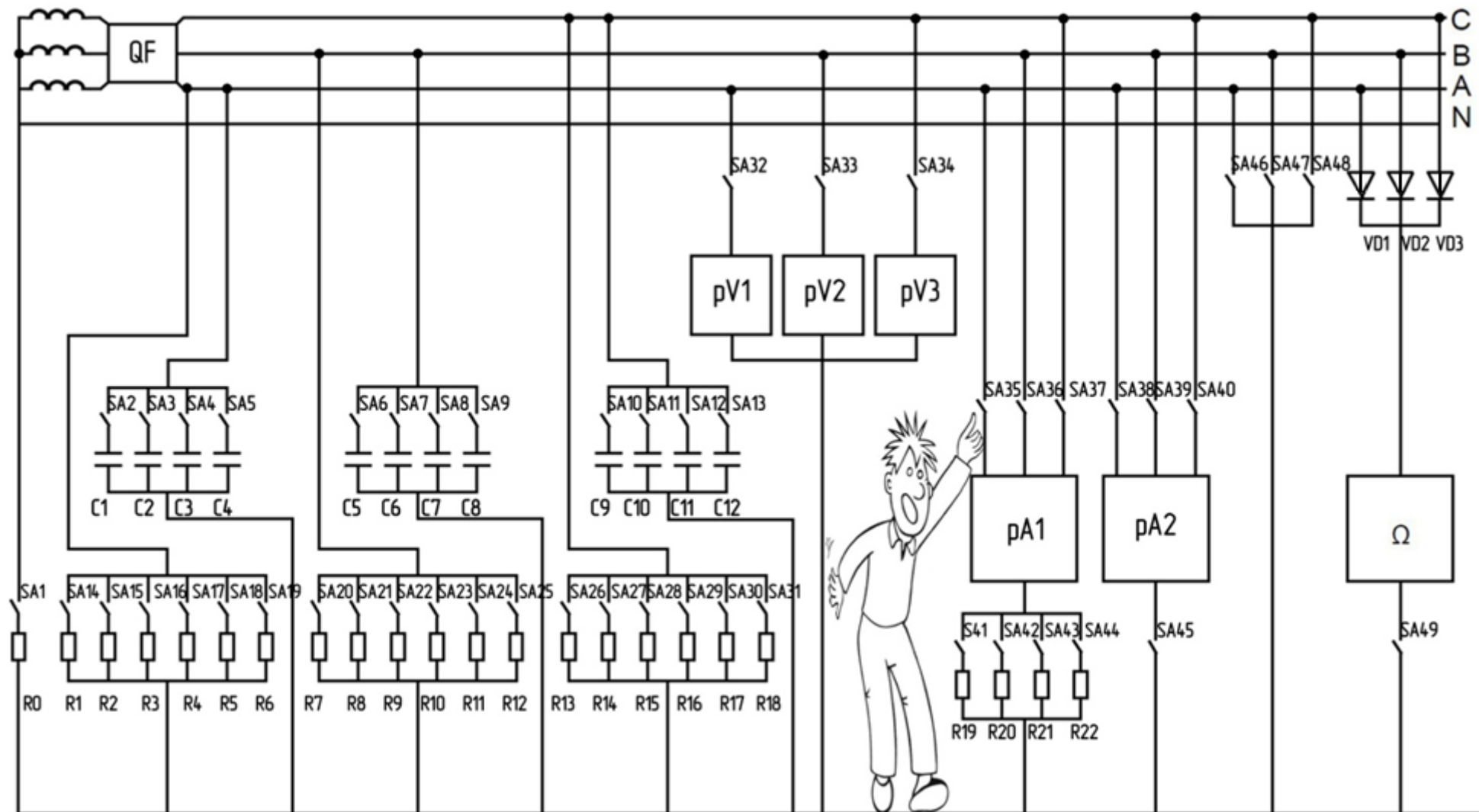


Рисунок 7. Схема лабораторного стенда.

Положение тумблеров вверх – «включено», вниз – «выключено».

Установка содержит автоматический выключатель QF1 – для подключения к питающей сети; тумблеры SA<sub>32</sub>, SA<sub>33</sub>, SA<sub>34</sub> – выполняют подключение вольтметров PV<sub>1</sub>, PV<sub>2</sub>, PV<sub>3</sub> к фазам; SA<sub>49</sub> – подключение приборов; тумблеры SA<sub>46</sub>, SA<sub>47</sub>, SA<sub>48</sub> – замыкание фаз на землю; SA<sub>17-19</sub>, SA<sub>23-25</sub>, SA<sub>29-31</sub> – имитируют переменные сопротивления изоляции фаз (R<sub>4-6</sub>, R<sub>10-12</sub>, R<sub>16-18</sub>), позволяющие выполнять симметричное снижение изоляции – уменьшение сопротивления сразу всех трех фаз и несимметричное – уменьшение сопротивления только одной фазы. Для выполнения периодического контроля применяется мегомметр.

#### **4. Техника безопасности**

4.1. При выполнении лабораторной работы необходимо выполнять требования по технике безопасности, общие для лаборатории.

4.2. Внешним осмотром убедиться в исправности испытательного стенда.

4.3. При наличии неисправности испытательный стенд отключить от сети и поставить в известность преподавателя.

#### **5. Порядок выполнения работы**

Задание к работе:

– На лабораторном стенде выполнить периодический и постоянный контроль изоляции.

– Данные замеров сравнить с допустимой величиной сопротивления изоляции (таблица 1).

##### **5.1. Периодический контроль изоляции.**

###### **5.1.1. Подготовка стенда к работе:**

– отключить стенд от сети;

– все тумблеры поставить в положение «выключено» (вниз);

– тумблеры SA<sub>17-19</sub>, SA<sub>23-25</sub>, SA<sub>29-31</sub> поставить в положение «включено» (вверх) R<sub>4</sub>, R<sub>10</sub>, R<sub>16</sub>, соответственно;

**5.1.2.** Сделать замеры фазных и межфазных сопротивлений изоляции. Симметрично уменьшая сопротивление изоляции, т.е. переводя тумблеры SA<sub>17-19</sub>, SA<sub>23-25</sub>, SA<sub>29-31</sub> в положение «включено» R<sub>5</sub>, R<sub>11</sub>, R<sub>17</sub>, затем R<sub>6</sub>, R<sub>12</sub>, R<sub>18</sub>. Выполнить замеры сопротивлений.

**5.1.3.** Для одного из симметричных режимов изоляции выполнить пробой изоляции фазы А – включить тумблер SA<sub>46</sub>, выполнить замеры сопротивлений. Отключить SA<sub>46</sub>.

**5.1.4.** Тумблеры SA<sub>17-19</sub>, SA<sub>23-25</sub>, SA<sub>29-31</sub> поставить в положение R<sub>4</sub>, R<sub>10</sub>, R<sub>16</sub>.

**5.1.5.** Выполнить несимметричное снижение изоляции одной фазы. Для этого тумблеры SA<sub>17-19</sub> поставить в положение R<sub>4</sub>, выполнить замеры сопротивлений изоляции, затем перевести в положение R<sub>5</sub> и выполнить замеры.

###### **5.2. Схема трех вольтметров (постоянный контроль изоляции).**

###### **5.2.1. Подготовка стенда к работе:**

– переключатели  $SA_{17-19}$ ,  $SA_{23-25}$ ,  $SA_{29-31}$  поставить в положение  $R_4$ ,  $R_{10}$ ,  $R_{16}$ ;

– включить тумблеры  $SA_{32}$ ,  $SA_{33}$ ,  $SA_{34}$ ;

– подключить стенд к сети.

**5.2.2.** Снять показания вольтметров. Симметрично уменьшая сопротивления изоляции, снять показания приборов.

**5.2.3.** Для одного из симметричных режимов выполнить пробой фазы А на землю. Сделать замеры. Отключить  $SA_{46}$ .

**5.2.4.** Тумблеры  $SA_{17-19}$ ,  $SA_{23-25}$ ,  $SA_{29-31}$  поставить в положение  $R_4$ ,  $R_{10}$ ,  $R_{16}$ .

**5.2.5.** Выполнить несимметричное снижение изоляции, сняв при этом показания вольтметров.

**5.3.** Схема трех вентилях (постоянный контроль изоляции).

**5.3.1.** Подготовка стенда к работе:

– отключить  $SA_{32}$ ,  $SA_{33}$ ,  $SA_{34}$ ;

– включить  $SA_{49}$ ;

– тумблеры  $SA_{17-19}$ ,  $SA_{23-25}$ ,  $SA_{29-31}$  поставить в положение  $R_4$ ,  $R_{10}$ ,  $R_{16}$ .

**5.3.2.** Снять показания с прибора.

Симметрично уменьшая сопротивления изоляции, снять показания.

**5.3.3.** Для одного из симметричных режимов выполнить пробой фазы А на землю. Сделать замеры.

Отключить  $SA_{46}$ .

**5.3.4.** Поставить тумблеры  $SA_{17-19}$ ,  $SA_{23-25}$ ,  $SA_{29-31}$  в положение  $R_4$ ,  $R_{10}$ ,  $R_{16}$ .

**5.3.5.** Выполнить несимметричное снижение изоляции, сняв при этом показания.

**5.4.** Все тумблеры поставить в положение «выключено». Отключить стенд от сети. Данные замеров занести в таблицу 3.

Таблица 3.

Положение переключателей			Периодический контроль						Постоянный контроль					
SA 17-19	SA 23-25	SA 29-31	Показания мегомметра, МОм						Схема 3-х вольтметров					
A	B	C	R 4-6	R 10-12	R 16-18	R AB	R BC	R AC	V <sub>A</sub>	V <sub>B</sub>	V <sub>C</sub>	V AB	V BC	V AC

## 6. Указания к составлению отчета

– Цель работы.

– Таблица результатов.

– Выводы. Измеренные и нормированные сопротивления изоляции.

– Преимущества и недостатки схем контроля изоляции.

## **7. Вопросы для самопроверки**

1. Что называется изоляцией?
2. Факторы, влияющие на снижение сопротивления изоляции.
3. Величина тока через человека в сети с изолированной нейтралью.
4. Величина тока через человека в сети с глухозаземленной нейтралью.
5. Виды и методы контроля изоляции электроустановок.
6. Достоинства и недостатки периодического контроля.
7. Достоинства и недостатки контроля по схеме трех вольтметров.

### **3.3. Монтажная схема и основные неполадки**

В процессе эксплуатации стенда, могут возникать различные неисправности. Для облегчения устранения неполадок в работоспособности стендов ниже рассмотрим схемы коммутации основного оборудования и перечислим основные неисправности, которые могут возникнуть в результате работы.

На рисунке 3.4. изображена монтажная схема стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках».



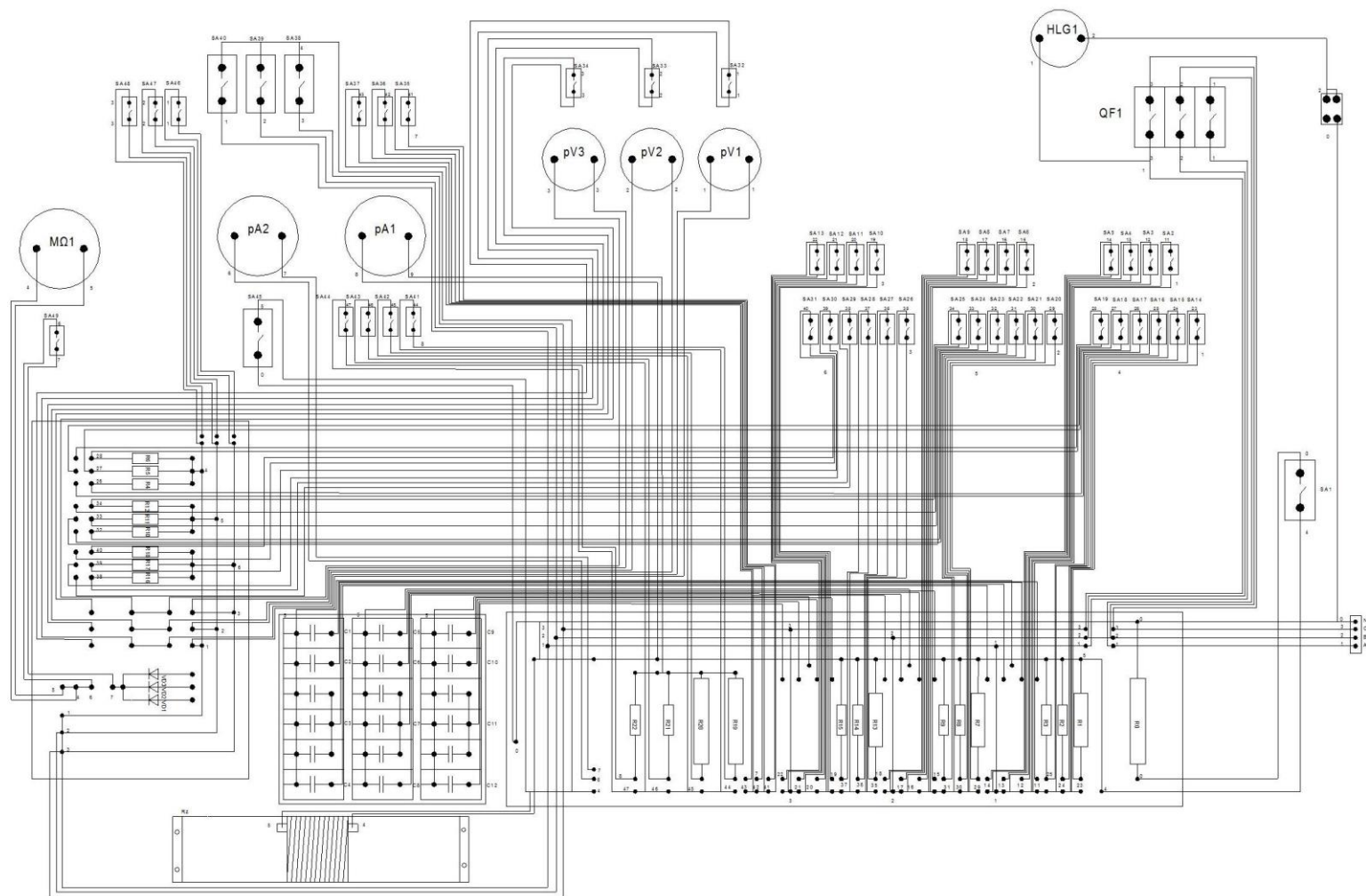


Рисунок 3.4 – «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В»  
и «Контроль изоляции в электроустановках»

Таблица 3.1 – Неполадки

Наименование неполадки	Способы устранения
Не горит лампа индикации при включении автоматического выключателя QF1	Проверить, включен ли вводной автомат в аудитории №309а. Проверить наличие напряжения на лампе, заменить лампу
Не работает тумблер	Проверить исправность тумблера
Произошел разрыв цепи	Согласно монтажной схеме устранить разрыв цепи
Неисправность основного электрооборудования	Проверить наличие питания на клеммах оборудования, заменить

В приложении представлена таблица спецификации для используемого оборудования, указанного на монтажной схеме лабораторного стенда.

#### 4. Безопасность жизнедеятельности

Безопасность жизнедеятельности – это состояние деятельности, при которой с определенной вероятностью исключаются потенциальные опасности, влияющие на здоровье человека.

Безопасность – это комплексная система мер по защите человека и среды его обитания от опасностей формируемых конкретной деятельностью. Чем сложнее вид деятельности, тем более расширена система защиты.

Для обеспечения безопасности конкретной деятельностью должны быть решены три задачи.

1. Разработать эффективные меры защиты человека и среды обитания от выявленных опасностей. Под "эффективными" подразумеваются такие меры по защите, которые при минимуме материальных затрат обеспечивают максимальный эффект.

2. Произвести полный детальный анализ опасностей формируемых в изучаемой деятельности.

3. Разработать эффективные меры защиты от остаточного риска данной деятельности. Они необходимы, так как обеспечить абсолютную безопасность деятельности не возможно.

##### 4.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов

Рабочее место - СФУ, Институт горного дела, геологии и геотехнологии, учебный корпус, кафедра ЭГМП, аудитория №309а.

Оборудование - стенд для проведения лабораторных работ «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» и «Контроль изоляции в электроустановках».

Таблица 4.1 – Вредные и опасные факторы

№ п/п	Рабочее место или операция технологического процесса	Оборудование	Опасный (вредный) фактор, единица измерения	Величина фактора	Норматив (безопасная величина) со ссылкой на ГОСТ, СНиП и т.п.
1	Аудитория №309 а	Лабораторный стенд	Напряжение	24В	50В РД153-34.0 – 3.150-00 п.10.4

#### 4.2. Технические и организационные мероприятия по охране труда

Перед выполнением задания по выполнению лабораторной работы, студент должен пройти инструктаж по безопасному выполнению работы и получить дополнительные указания от преподавателя.

Стенд представляет собой стол размером 1200х750мм. Всё оборудование размещено внутри стенда и на задней стенке. Доступ к токоведущим частям полностью ограничен конструктивным исполнением стенда из изоляционного материала. Все токоведущие части стенда выполнены в двойной изоляции. Дополнительно присутствуют предупреждающие знаки и надпись на крышке задней панели «Не открывать, не отключив от сети» и знак электрической опасности. Дополнительно на стенде обозначена величина напряжения.

Помещение, в котором установлен стенд, имеет температуру окружающего воздуха  $+25^{\circ}\text{C}$  при относительной влажности 45%. Вентиляция помещения – естественная. С помощью окон обеспечивается кратность воздухообмена при скорости движения воздуха до 0,5 м/с согласно ГОСТ 30494.

##### **Электробезопасность.**

Стенд подключен к сети переменного тока напряжением 24В. На входе питания в стенд установлен автоматический выключатель, который выполняет функции выключателя и защиты, при коротких замыканиях и перегрузках. Питание стенда выполнено путем подключения гибкого кабеля с двойной изоляцией.

Эксплуатационному персоналу запрещается производить разборку стенда, снятие задней и передней стенки без отключения вводного автоматического выключателя на стенде и отключения питающего кабеля путем отключения разъемного соединения на распределительном щитке в аудитории №309 а.

##### **Правила безопасности перед выполнением работы.**

Проверить отсутствие напряжения на лабораторном стенде (автоматический выключатель должен быть выключен, индикаторная лампа не должна гореть).

Работая в лаборатории, студенты не должны отвлекаться и отвлекать других. Запрещается самовольное расширение рабочего места.

Студент должен предварительно проверить соответствие выполняемой работы порученному заданию. В случае неясности пригласить для проверки преподавателя или лаборанта.

#### **Правила безопасности при выполнении работы.**

Включение стенда производится только с разрешения преподавателя или лаборанта и только после предупреждения об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте.

В случае короткого замыкания эксплуатирующий персонал должен проверить срабатывание автоматического выключателя. При повреждении оборудования, студент должен немедленно отключить автоматический выключатель на щитке рабочего места. Обо всех неисправностях, эксплуатирующий персонал, не делая попыток к исправлению, должен немедленно сообщить преподавателю.

При отсутствии напряжения в цепи автоматический выключатель должен быть в отключенном состоянии.

В случае прекращения опыта или перерыва в работе стенд надо обязательно отключить от сети.

Во время выполнения работы на стенде запрещается:

- Выполнять действия, противоречащие полученным заданиям и методичек;
- Оставлять без наблюдения стенд, находящийся под напряжением;
- Включать не имеющие отношения к данной работе аппараты, приборы и тумблеры.

Студенты должны бережно и аккуратно обращаться с аппаратурой, приборами и инструментами.

Во всех случаях обнаружения неисправного состояния оборудования, измерительных приборов и проводов необходимо немедленно поставить в известность преподавателя.

#### **Правила безопасности по окончании работы.**

По окончании лабораторной работы, студент должен поставить в известность преподавателя или лаборанта. После проверки и разрешения преподавателя следует:

- выключить автомат питания;
- навести порядок на рабочем месте;
- сообщить преподавателю или лаборанту об окончании работы на стенде.

### **4.3. Мероприятия по производственной санитарии**

Помещение, в котором установлен стенд, имеет стены – побеленные в белый цвет. Пол – деревянный, способ уборки – влажной тряпкой.

Система отопления – централизованное, вид теплоносителя – горячая вода до 85<sup>0</sup>С. В качестве нагревательного прибора используются чугунные батареи в количестве 4 штуки по 7 рёбер.

На каждом этаже имеется мужской и женский санузел. Все санузлы оборудованы умывальниками. На первом этаже размещён гардероб.

Аудитория имеет площадь 68,4 м<sup>2</sup>. Количество оконных проёмов – 4, размеры – 1,5х2,5 м. Оконные рамы выполнены из материала ПВХ с тройным стеклопакетом.

Искусственное освещение аудитории выполнено светильниками с люминесцентными лампами типа ЛД-18. Количество светильников – 18 шт., количество ламп в светильнике – 4шт. Нормируемое освещение согласно СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение" составляет 100 лк.

Данное помещение имеет естественный воздухообмен.

Стенд расположен задней стенкой вплотную к стене здания.

#### **4.4. Мероприятия по пожарной и взрывной безопасности**

Возможные источники взрывоопасности – отсутствуют.

Источники пожароопасности: короткое замыкание электрической цепи, небрежное отношение с открытым огнём (проведение ремонтных работ технических коммуникаций). В производстве не используются горючие газообразные, жидкие или твердые вещества.

Аудитория оборудована двумя огнетушителями, в коридоре имеется один огнетушитель и ящик с песком. Огнетушители типа ОП-5. На случай пожара здание учебного корпуса оборудовано противопожарной сигнализацией, звуковым оповещением и включением табличек эвакуационных выходов.

В случае возникновения пожара студент обязан:

- а) немедленно отключить главный рубильник или автоматический выключатель;
- б) принять меры по удалению всех людей из опасной зоны;
- в) вызвать пожарную охрану по телефону 01;
- г) принять меры к ликвидации пожара первичными и подручными средствами; при невозможности самостоятельной ликвидации очага пожара - покинуть помещение, плотно закрыв за собой двери.

Доврачебная помощь при поражении человека электрическим током:

1. Освободить пострадавшего от действия электрического тока.
2. Вызвать врача по телефону 03 или 112.
3. При необходимости давать нюхать нашатырный спирт, сделать искусственное дыхание и наружный массаж сердца.
4. Обеспечить пострадавшему покой.

## 5. Экономическая часть

Проектирование лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях». Разработка, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» и «Контроль изоляции в электроустановках».

На стенде выполняются следующие лабораторные работы:

- «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В».
- «Контроль изоляции в электроустановках».

На рисунке 5.1 показан внешний вид стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках».

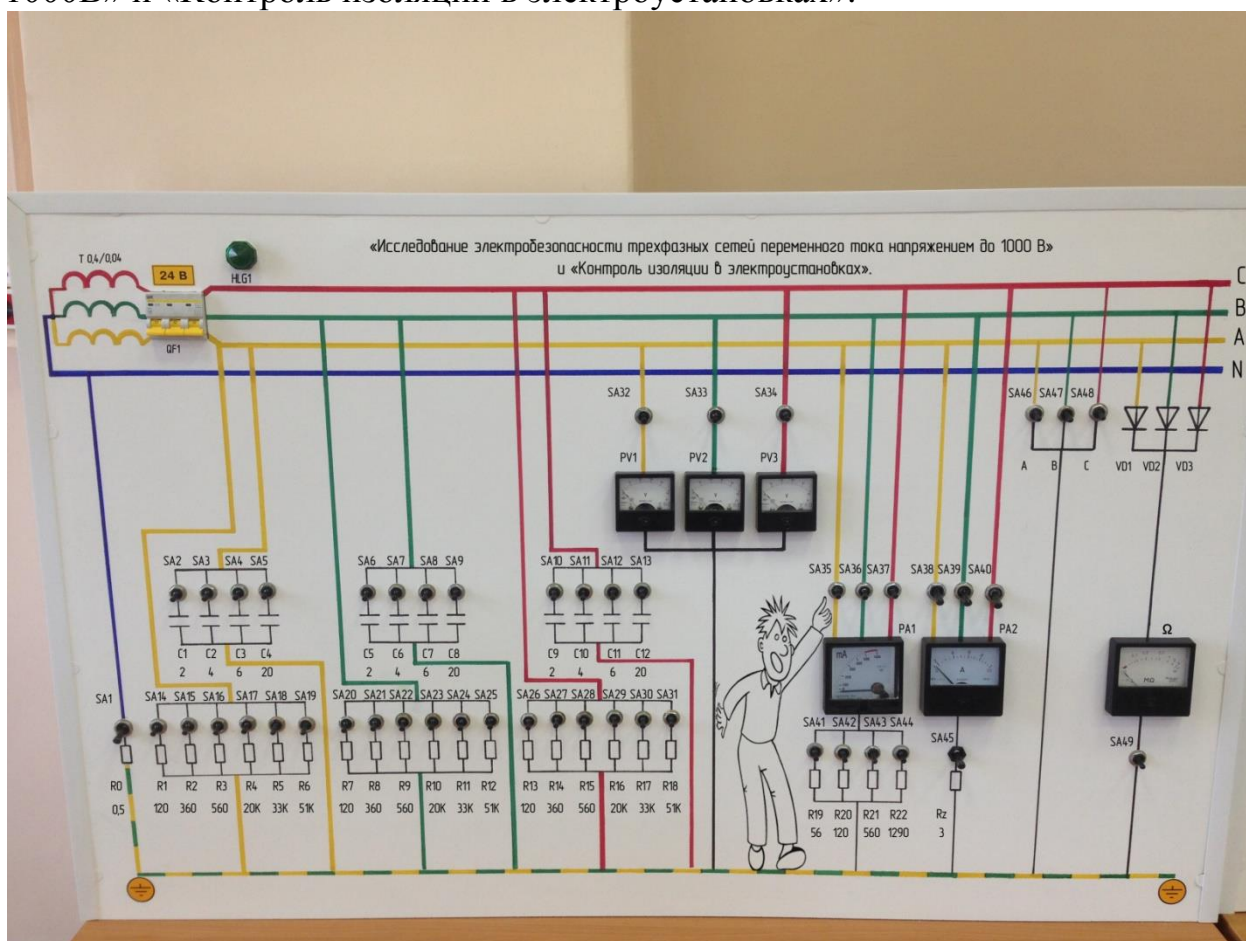


Рисунок 5.1 – Стенд «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

В экономической части дипломной работы оцениваем экономический эффект от внедрения предлагаемого лабораторного стенда.

Цена данного стенда, учитывая НДС, составляет 126870,38 руб. Для оценки экономической эффективности следует определить цену разработанного лабораторного стенда.

Для расчета себестоимости лабораторного стенда составим смету расходов по статьям затрат:

- затраты на электрооборудование;
- затраты на материалы;
- заработная плата рабочих;
- накладные расходы.

### 5.1. Расчет затрат на приобретение электрооборудования

В таблице 5.1 указано количество и стоимость электрооборудования приобретенного для производства стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках».

Таблица 5.1 – Электрооборудование стендов

Наименование материала	Ед. изм.	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Автоматический выключатель ВА47-29 10А iEK 3P	шт.	1	276,00	276,00
Лампаиндикаторная 24 В зеленая	шт.	1	85,00	85,00
ТумблерТВ1-4 5А	шт.	5	245,00	1225,00
Тумблер ТП1-2 5А	шт.	44	37,00	1628,00
Вольтметр М2001/1 50V	шт.	3	210,00	630,00
Амперметр М42100 500мА	шт.	1	200,00	200,00
Амперметр Е8030 10А	шт.	1	250,00	250,00
Мегомметр Ф4106	шт.	1	600,00	600,00
Однофазный трансформатор	шт.	3	1800,00	5400,00
<b>Итого:</b>				<b>10294,00</b>

### 5.2. Расчет затрат на материалы

При сборке лабораторного стенда выполнялись следующие виды работ:

- установка и подключение измерительных приборов, автоматического выключателя, тумблеров и сигнальной аппаратуры;
- проектирование и разработка корпуса для трансформаторов;
- монтаж проводки и подключение всего оборудования;
- соединение силовой части и цепей управления;
- наладочные работы.

При производстве этих работ использованы материалы, которые указаны в таблице 8.2.

Таблица 5.2 – Материалы

Наименование материала	Ед. изм.	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Кабель 5х1,5	м	7	46,00	322,00
Кабель ВВГ 5х2,5	м	6	65,00	390,00
Щиток ЩРН-П-8 модулей	шт.	1	328,00	328,00
Автоматический выключатель-ВА47-29 16А iEK 3P	шт.	1	276,00	276,00
Кабель канал 16х25	шт.	5	46,00	230,00
Угол внешний 25/16 мм	шт.	5	10,00	50,00
Угол внутренний 25/16 мм	шт.	5	10,00	50,00
Фанера ФК 6мм 1525х1525	лист	2	398,00	796,00
ЛДСП белая 2440х910х3 мм (2,24 м <sup>2</sup> )	лист	1	558,00	558,00
Винты оцинкованные 6х50	шт.	30	3,00	90,00
Шайба оцинкованная 6 мм	кг.	0,048	268,00	12,00
Гайка оцинкованная М6	кг.	0,092	215,00	19,78
Сверло по металлу	шт.	8	25,00	200,00
Заглушка самоклей. белая d13	шт.	25	1,00	25,00
Хомут пластиковый 100х2.5	шт.	300	0,00	150,00
Аэрозольная краска черная 425мл	шт.	2	142,00	284,00
Саморезы 2х16	кг.	0,355	321,00	113,00
Наждачная бумага Р120	лист	5	8,00	40,00
Флюс СКФ 30мл	шт.	1	56,00	56,00
Гвозди строительные 1,2х20 уп. 100шт.	шт.	1	40,00	40,00
Маркеры цветные Paint	шт.	6	100,00	600,00
Линейка 50 см	шт.	2	25,00	50,00
Изолента ЭРА 19 мм	шт.	2	45,00	90,00
Символ 380В 40х20	шт.	1	4,00	4,00
Символ 24В 15х50	шт.	1	4,00	4,00
Символ молния 50х50х50	шт.	1	4,00	4,00
Символ заземления 30х30	шт.	2	3,00	6,00
Текстолит 60х40 см	шт.	1	350,00	350,00
Конденсатор 2 мкФ	шт.	12	90,00	1080,00
Конденсатор 4 мкФ	шт.	3	100,00	300,00
Конденсатор 20 мкФ	шт.	3	120,00	360,00
Резистор 1 Ом 20Wкер.	шт.	2	42,00	84,00
Резистор 120 Ом 10Wкер.	шт.	4	38,00	152,00
Резистор 360 Ом 5Wкер.	шт.	3	35,00	105,00
Резистор 56 Ом 10Wкер.	шт.	1	36,00	36,00
Резистор 560 Ом	шт.	4	2,00	8,00
Резистор 20 кОм	шт.	3	2,00	6,00
Резистор 33 кОм	шт.	3	2,00	6,00
Резистор 51 кОм	шт.	3	2,00	6,00
Резистор 1290 Ом	шт.	1	3,00	3,00
Диод FR607	шт.	3	10,00	30,00
Зажим винтовой 2,5х6	шт.	5	55,00	275,00



Площадка самоклея. 25х25мм	шт.	20	2,00	40,00
Провод ВВГ 1.5	м.	100	30,00	3000,00
Маркер пластиковый для кабеля сечение 1,5 (упак.)	шт.	2	250,00	500,00
Корпус металлический	шт.	1	800,00	800,00
Уголок металлический 30х20 мм	м.	6	205,00	1230,00
Парта ученическая 1600х1200	шт.	1	2100,00	2100,00
<b>Итого:</b>				<b>15260,59</b>

### 5.3. Расчет расходов по заработной плате персонала

При изготовлении лабораторного стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» и «Контроль изоляции в электроустановках», применяется повременно-премиальная система оплаты труда. При монтажно-наладочных работах был задействован один наладчик. Тарифный фонд заработной платы определяется произведением часовой тарифной ставки на фонд рабочего времени и количество рабочих и приведен в таблице 5.3.

В таблице 5.4 приведен расчет общего фонда оплаты труда рабочих. Величина тарифного фонда берется из таблицы 5.3. Премиальные доплаты принимаем за 20% от тарифного фонда. Дополнительную заработную плату можно принять в размере 12% от основной.

Доплаты по районному и северному коэффициенту по 30% от суммы тарифного фонда с доплатами.

Годовой фонд заработной платы определяется как сумма основной и дополнительной заработной платы.

Работы по производству лабораторного стенда производились в течение 2 месяцев.

Таблица 5.3 – Расчет тарифного фонда заработной платы

Должность	Количество рабочих	Разряд	Годовой фонд рабочего времени 1-го рабочего, час.	Часовая тарифная ставка, руб.	Годовой тарифный фонд заработной платы, руб.
Наладчик	1	6	1987	48,52	96409,24
<b>Итого:</b>					<b>96409,24</b>

Таблица 5.4 – Расчет общего фонда оплаты труда рабочих.

Должность	Число штатных ед.	Часовая тарифная ставка	Годовой тарифный фонд оплаты труда, руб	Премия	Вознаграждение по итогам года, руб	Итого с учетом районного и северного коэффициентов, руб	Фонд зарплаты за месяц	Фонд зарплаты за 2 месяца
Наладчик	1	48,5 2	96409,24	19281,85	11569,11	203616,32	16968,03	33936,06
<b>Итого:</b>			96409,24	19281,85	11569,11	203616,32	16968,03	33936,06

Общая сумма затрат определена в таблице 5.5.

Таблица 5.5 - Расчет затрат на производство лабораторных стендов.

Наименование затрат	Сумма, руб.	Примечание
Затраты на материалы	15260,59	
Затраты на МБП	10294,00	
Заработная плата	33936,06	
Отчисления ЕСН	8823,38	26% от ЗП
Накладные расходы	8484,02	25% от ЗП
Итого:	76798,05	

Цена лабораторных стендов принимается из расчета планового уровня рентабельности работ в размере 40%.

$$Ц = 76798,05 \times 1,4 = 107517,27 \text{ руб} \quad (5.1)$$

Цена к продаже с НДС лабораторного стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

$$Ц_{\text{НДС}} = 107517,27 \times 1,18 = 126870,38 \text{ руб} \quad (5.2)$$

## **Заключение**

В заключении хочется отметить, что за время проектирования выполнено электроснабжение лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях», в аудитории в кабель-канале проложен питающий кабель, смонтирован распределительный щит с вводным автоматическим выключателем. Самостоятельно сделана плата, обеспечивающая стабильную работу стенда, не имеющая аналогов. Рассчитан и спроектирован силовой понижающий трансформатор для питания лабораторных стендов, который в дальнейшем сможет обеспечить работу новых стендов.

Лабораторный стенд, имеет большое практическое значение для обучения студентов. При проведении лабораторной работы можно не только теоретически, но и практически увидеть, как работает контроль изоляции в электроустановках.

В будущем студенты смогут модернизировать данный стенд, тем самым усовершенствовать приборы, для более точного и детального изучения. Так же на кафедре ЭГМП в перспективе имеется продолжить развитие лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях».

## Список используемых источников

1. Герасимов А.И. Проектирование электроснабжения цехов обогательных фабрик: Учебное пособие /А.И. Герасимов, С.В. Кузмин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 304с.
2. Герасимов А.И. Электроснабжение карьеров: Учебное пособие /А.И. Герасимов, Б.С. Заварыкин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. – 184с.
3. Никитский В.З. Трансформаторы малой мощности. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1976 – 96 с. с ил.
4. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учебное пособие для вузов /П.А. Долин – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с., ил.
5. Ломоносов В.Ю., Поливанов К.М., Михайлов О.П. Электротехника – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 400с.: ил.
6. ГОСТ 2.710–81 Правила выполнения схем. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах. Измененная редакция, Изм. № 1 Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 31 марта 1981 г. № 1675 срок введения установлен с 01.07.1987
7. Лабораторный практикум по электробезопасности и пожарной безопасности / И.В. Гейко, А.Б. Елькин, Н.С. Конюхова, Т.И. Курагина, О.В. Маслеева, Л.И. Молвина, В.И. Миндрин, Г.В. Пачурин. Н.Новгород: НГТУ, 2012.–с.
8. Герасимов А.И. Проектирование электроснабжения цехов обогательных фабрик: Учебное пособие /А.И. Герасимов, С.В. Кузмин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 304с.
9. Герасимов А.И. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий: учеб. Пособие для вузов /А.И. Герасимов, С.В. Кузмин.-3-е изд., перераб. и доп. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2006. – 264с.
10. Кнорринг Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения /Г.М. Кнорринг, И.М. Фадин, В.Н. Сидоров – 2-е изд., перераб. И доп. – СПб,: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
11. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. – 216
12. Правила устройства электроустановок / Минэнерго РФ. - 7-е изд., перераб. и доп. – М., 2002.

Таблица 1 – Спецификация электрооборудования

Обозначение	Наименование	Количество
	<i>Автоматический выключатель</i>	
QF1	ВА47-29 3Р 10А ИЕК	1
	<i>Индикаторная лампа</i>	
HLG1	24 В	1
	<i>Амперметры</i>	
A1	Амперметр переменного тока $I_n=1A$	1
A2	Амперметр переменного тока $I_n=10A$	1
	<i>Вольтметры</i>	
V1	Вольтметр постоянного тока $U_n=50B$	1
V2	Вольтметр постоянного тока $U_n=50B$	1
V3	Вольтметр постоянного тока $U_n=50B$	1
	<i>Омметр</i>	
MΩ1	Омметр постоянного тока Ф-4106	1
	<i>Тумблеры</i>	
SA2-SA37,SA41-44, SA46-49	ТП2–1	44
SA1,SA38-SA40,SA45	ТВ1–4	5
	<i>Резисторы</i>	
R1,R7,R13,R20	Резистор 120 Ом	4
R2,R8,R14	Резистор 360 Ом	3
R3,R9,R15,R21	Резистор 560 Ом	4
R19	Резистор 56 Ом	1
R22	Резистор 1290 Ом	1
R0	Резистор 0,5 Ом	1
Rz	Резистор 3 Ом	1
R4,R10,R16	Резистор 20 кОм	3
R5,R11,R17	Резистор 33 кОм	3
R6,R12,R18	Резистор 51 кОм	3
	<i>Конденсаторы</i>	
C1,C5,C9	Конденсатор 2 мкФ	3
C2,C6,C10	Конденсатор 4 мкФ	3
C3,C7,C11	2 мкФ, 2 мкФ, 2 мкФ = 6 мкФ	9
C4,C8,C12	Конденсатор 20 мкФ	3
	<i>Диоды</i>	
VD1, VD2, VD3	Диод FR-607	3

### Тумблер ТВ1–4

Предназначен для коммутации электрических цепей управления переменного и постоянного тока. Рассчитаны на  $U=220 В$  и силой тока в 5 А.

Применяется в радиоэлектронной, приборной и специальной технике. Предназначен для ручной коммутации низковольтных электрических цепей малой мощности, не требующих частого переключения. Преимущества: простая и надежная конструкция тумблера, выдерживает без остаточных деформаций пружинящих деталей 10000 циклов, простой и удобный монтаж.

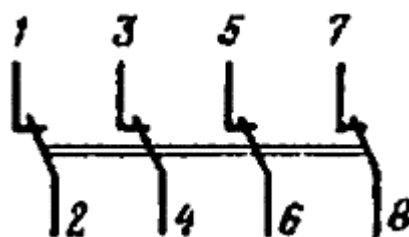


Рисунок 1 – Электрическая схема тумблера ТВ1–4

Внешний вид тумблера ТВ1–4 представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Тумблер ТВ1–4

### **Тумблер ТП2–1**

Тумблеры с врубными контактами предназначены для ручной коммутации низковольтных электрических цепей малой мощности, не требующих частого переключения. Один из вариантов исполнения – тумблер с металлическим узлом. Внешний вид тумблера ТП2–1 представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Тумблер ТП2–1

## Автоматический выключатель IEK BA47–29 3P 10A-C

Автоматический выключатель предназначен для защиты от перегрузок и коротких замыканий, а также для оперативного управления участками электрических цепей.

Защита обеспечивается двумя расцепителями: электромагнитным (мгновенно срабатывает при значительном превышении тока) и тепловым (время срабатывания зависит от величины тока и составляет от нескольких секунд до нескольких часов).

Характеристика срабатывания электромагнитного расцепителя «С» является стандартной и наиболее используемой, обычно применяется для защиты распределительных и групповых цепей со значительными пусковыми токами и смешанной нагрузкой (освещение, розетки и т.д.). Срабатывание электромагнитного расцепителя происходит в том случае, если ток превышает номинальный в 5 – 10 раз.

Отключающая способность указывает на максимальный ток короткого замыкания, который автоматический выключатель способен выдержать, сохранив свою работоспособность.

Преимущества:

- 1) Два типа защиты от перегрузки и короткого замыкания.
- 2) Полный комплект дополнительных устройств с возможностью простой самостоятельной установки.
- 3) Широкий диапазон рабочих температур от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ .
- 4) Усовершенствованная более широкая рукоятка включения с увеличенной площадью контакта.
- 5) Насечки на контактных зажимах снижают тепловые потери и увеличивают механическую устойчивость соединения.

Автоматический выключатель BA47–29 представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Автоматический выключатель BA47–29



## **Лабораторная работа №3**

### **Контроль изоляции в электроустановках**

#### **1. Цель работы**

- 1.1. Ознакомление с видами, методами и нормативными положениями контроля состояния изоляции электроустановок.
- 1.2. Практическое измерение сопротивления изоляции в сети с изолированной нейтралью.

#### **2. Теоретическая часть**

Возможность поражения электрическим током – один из наиболее часто встречающихся опасных производственных факторов. Анализ смертельных несчастных случаев на производстве показывает, что на долю поражения электрическим током приходится до 40%. Поэтому задача обеспечения электробезопасности занимает ведущее место в курсах «Безопасность жизнедеятельности» и «Производственная безопасность».

Одним из способов обеспечения электробезопасности является применение надлежащей изоляции (ПУЭ).

**Изоляция** – это технический диэлектрик, в котором под действием электрического напряжения свободные электроны создают ток утечки. Следовательно, с ростом напряжения, приложенного к изоляции, его сопротивление уменьшается. При этом ток утечки возрастает. Снижение сопротивления изоляции может быть обратимым (при увлажнении) и необратимым (старение изоляции). На снижение сопротивления изоляции влияют также: запыление, химическое воздействие и естественное старение изоляции (изменение физической и химической структуры материала с течением времени). При этом изменение свойств изоляции протекает медленно и носит характер неравномерно-распределенного дефекта по всему объему диэлектрика. В месте дефекта появляются частичные разряды тока и выгорание изоляции, что может привести к возникновению короткого замыкания (пробой изоляции), электротравме и пожару.

Состояние изоляции в значительной мере определяет степень безопасности эксплуатации электроустановок. Сопротивление изоляции в сетях с изолированной нейтралью определяет ток через человека (рисунок 1). При глухозаземленной нейтрали ток через человека не зависит от сопротивления изоляции (рисунок 2). Но при плохом сопротивлении изоляции часто происходят ее повреждения, что приводит к замыканию на землю (корпус) и к коротким замыканиям. При замыкании на корпус возникает опасность поражения людей электрическим током, так как нетоковедущие части (корпус), с которыми человек нормально имеет контакт, оказываются под напряжением.

Чтобы предотвратить замыкание на землю и другие повреждения изоляции, при которых возникает опасность поражения людей электрическим током, а также выход из строя оборудования, необходимо проводить контроль изоляции.

**Контроль изоляции** – это измерение сопротивления изоляции токоведущих частей электроустановок с целью поддержания ее на уровне, обеспечивающем электробезопасность и предупреждение замыканий на землю и на корпус.

С целью проверки соответствия сопротивления изоляции установленным нормам, проводится периодический и постоянный контроль изоляции.

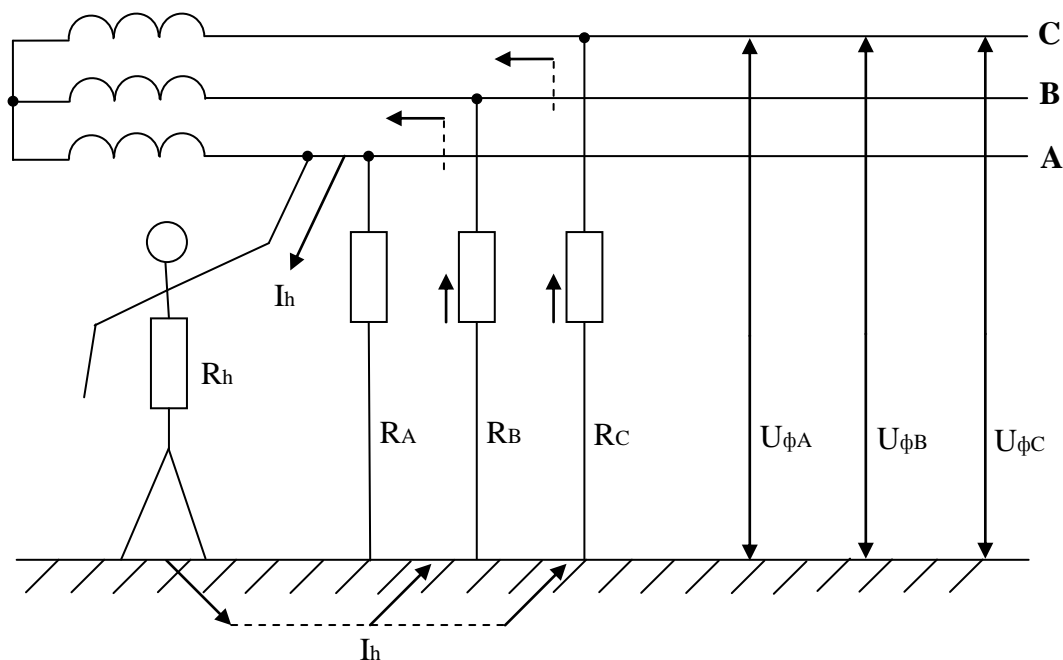


Рисунок 1. Электрический ток через человека в сети с изолированной нейтралью.

$$I_h = \frac{U_{\phi}}{\left(R_h + \frac{R_{из}}{3}\right)}, A$$

где:  $I_h$  – ток через человека,  $U_{\phi}$  – фазное напряжение,  $R_h$  – сопротивление человека,  $R_A = R_B = R_C = R_{из}$  – сопротивления изоляции фаз A, B, C.

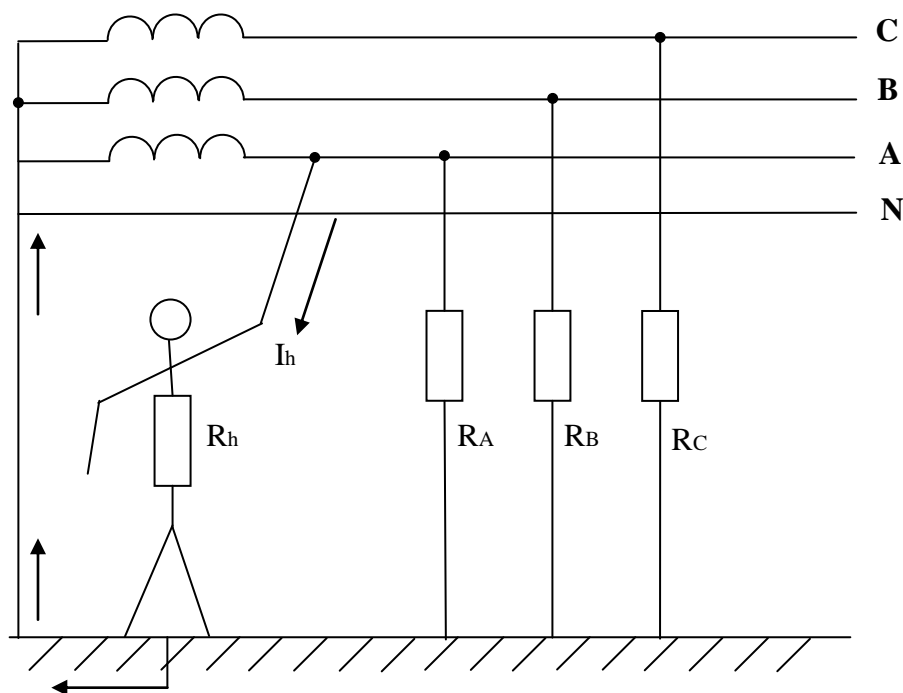


Рисунок 2. Электрический ток через человека в сети с глухозаземленной нейтралью: N – нулевой провод.

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h}, A$$

### 2.3. Периодический контроль изоляции

**Периодический контроль изоляции** – измерение ее сопротивления при приемке электроустановки после монтажа, периодически в сроки, устанавливаемые правилами (для сетей с напряжением до 1000В – не реже одного раза в год) или в случае обнаружения дефектов. Измерение согласно правилам должно производиться на отключенной установке. При таком измерении можно определить сопротивление изоляции отдельных участков сети, электрических аппаратов, трансформаторов, электродвигателей и тому подобное. Измеряется сопротивление изоляции каждой фазы относительно земли и между каждой пары фаз на каждом участке между двумя последовательно установленными аппаратами защиты или за последним защитным аппаратом (автоматическим выключателем, плавным предохранителем). Сопротивление изоляции каждого участка в сетях напряжением до 1000В должно быть не ниже указанных величин (таблица 1).

Минимально допустимые сопротивления изоляции электропроводок (ПУЭ, ПТЭ, ПТБ)

Таблица 1.

№	Наименование испытываемой изоляции	$R_{из},$ МОм
1	Электроустановки на напряжении выше 12 В переменного тока	0,5
2	Ручной электроинструмент и переносные светильники	0,5
3	Силовые и осветительные электропроводки	0,5
4	Электродвигатели переменного тока	0,5
5	Электроустановки $U > 1000$ В в помещениях II-III кл.	1,0

Периодический контроль изоляции осуществляется мегомметром.

Измеренное таким образом сопротивление изоляции отдельных участков сети не может служить критерием безопасности, так как ток замыкания на землю определяется сопротивлением изоляции всей сети, относительно земли. В результате таких измерений выявляются участки с дефектной изоляцией, требующие профилактических мероприятий, для предупреждения замыкания на землю и коротких замыканий.

Достоинства периодического контроля:

- возможность измерения конкретных величин сопротивления изоляции фаз и между фазами;
- после сравнения измеренной величины сопротивления изоляции с минимально допустимым (таблица 1) делается вывод о возможности эксплуатации электроустановки.

Недостатки периодического контроля:

- возможность эксплуатации электроустановок в течение некоторого времени с пониженным сопротивлением изоляции;
- измеренное сопротивление изоляции только отдельных участков сети. А это не может служить критерием безопасности всей сети.

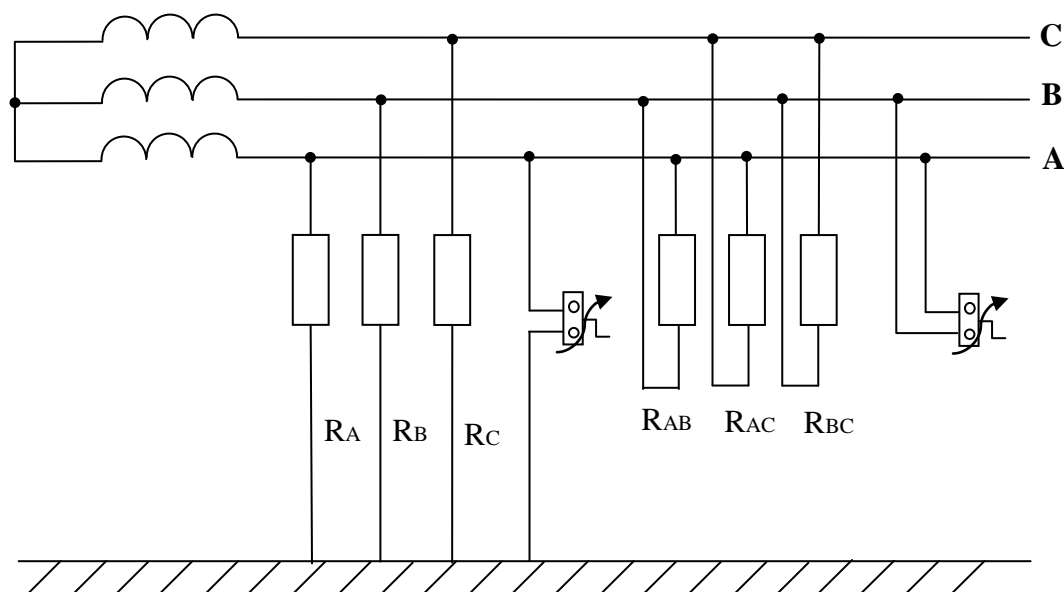


Рисунок 3. Схема измерения сопротивления изоляции мегомметром:  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$  – сопротивления изоляции фаз A, B и C;  $R_{AB}$ ,  $R_{AC}$ ,  $R_{BC}$  – межфазные сопротивления изоляции между фазами AB, AC и BC, соответственно.

## 2.4. Постоянный контроль изоляции

Постоянный контроль изоляции нашел широкое применение в электросетях и изолированной нейтралью и представляет собой контроль сопротивления изоляции под рабочим напряжением в течение всего времени работы электроустановок без отключения от сети.

Постоянный контроль позволяет:

- выявить повреждения, дефекты, не обнаруженные во время периодических испытаний;
- предотвратить искрообразование в местах плохих контактов, которое может привести к пожару, взрыву или электротравме;
- в сетях с изолированной нейтралью предотвращается возможность опасных замыканий на землю.

Устройство постоянного контроля изоляции предусматривается лишь в сети с изолированной нейтралью до 1000В.

Наиболее широкое применение для постоянного контроля нашли схемы:

- 3-х вентиляй;
- 3-х вольтметров.

## 2.5. Схема трех вентиляй

Вентильные схемы контроля изоляции измеряют сопротивление изоляции выпрямленным током. На рисунке 4 показана простейшая вентильная схема – схема трех вентиляй.

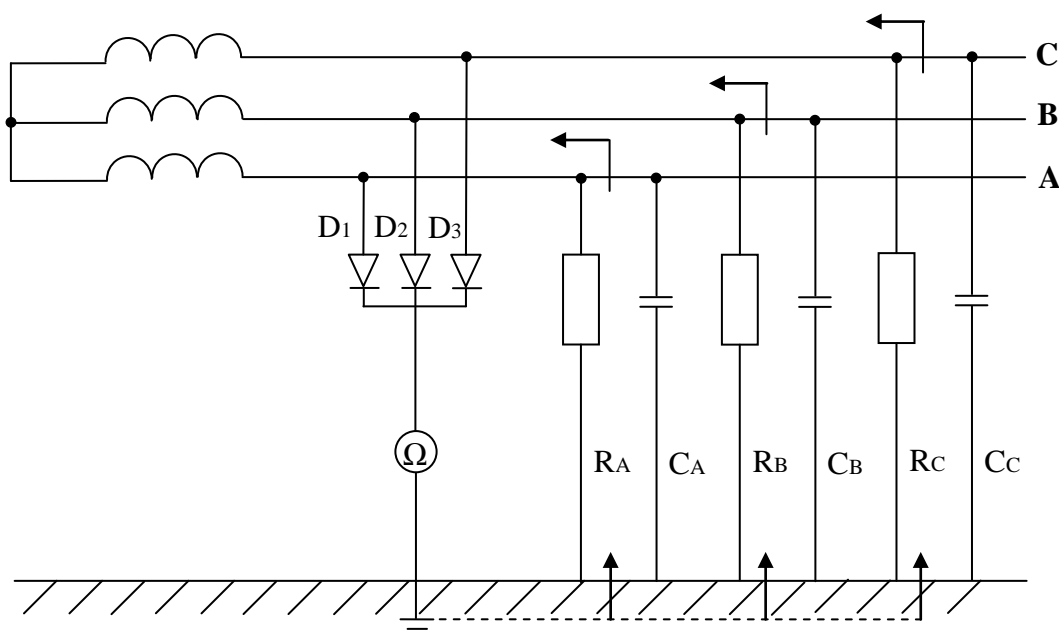


Рисунок 4. Схема трех вентиляй:  $\Omega$  - прибор измерения сопротивления. При положительной полуволне напряжения в фазе А ток проходит через вентиль D1, указатель  $\Omega$ , заземлитель и сопротивления изоляции двух других фаз к источнику. Полярность фаз изменяется, и поэтому постоянный ток проходит поочередно через вентили D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> и D<sub>3</sub>, через указатель  $\Omega$  и сопротивление изоляции.

Указатель  $\Omega$  представляет собой магнитоэлектрический прибор, через который проходит ток, выпрямленный тремя вентилями. Среднее значение этого тока зависит от общего сопротивления  $R$ , определяемого по формуле:

$$R = \frac{R_A R_B R_C}{R_A R_B + R_B R_C + R_A R_C}, \text{ Ом}$$

При замыкании на землю указатель отключается и стрелка показывает  $\infty$ , как исправную изоляцию. Указатель градуируется в КОм. Последовательно с указателем может быть включено реле, замыкающее сигнальную цепь при недопустимо низком сопротивлении (включается световой или звуковой сигнал).

Из схемы (рисунок 4) следует, что указатель показывает общее сопротивление изоляции всей сети, включая источник и потребители тока. Полученное таким образом сопротивление изоляции позволяет судить о степени безопасности эксплуатации данной сети.

Нормы, приведенные в ПТЭ, не могут служить в данном случае критерием исправности изоляции, так как они заданы не для всей сети, а только для отдельных участков.

Судить об исправности или о появлении дефектов изоляции по результатам можно лишь путем сопоставления с данными предыдущих измерений. Если результаты ряда измерений совпадают, то изоляция исправна. Если же обнаружено резкое снижение сопротивления изоляции по сравнению с данными предыдущих измерений, это указывает на наличие дефектов изоляции.

Достоинства схемы:

- возможность измерения общего сопротивления изоляции всей сети;
- возможность определения уменьшения сопротивления изоляции всей сети.

Недостатки схемы:

- не осуществляет самоконтроль, так как при неисправности внутренних цепей прибор показывает  $\infty$ , т.е. исправную изоляцию;
- точность измерения зависит от колебания напряжения в сети;
- невозможность определения при уменьшении показаний прибора, какое происходит уменьшение сопротивления изоляции – одной фазы, двух или трех.

## 2.6. Схема трех вольтметров

Вольтметры включаются в звезду с заземленной нейтральной точкой. Каждый вольтметр показывает напряжение относительно земли той фазы, в которой он подключен.

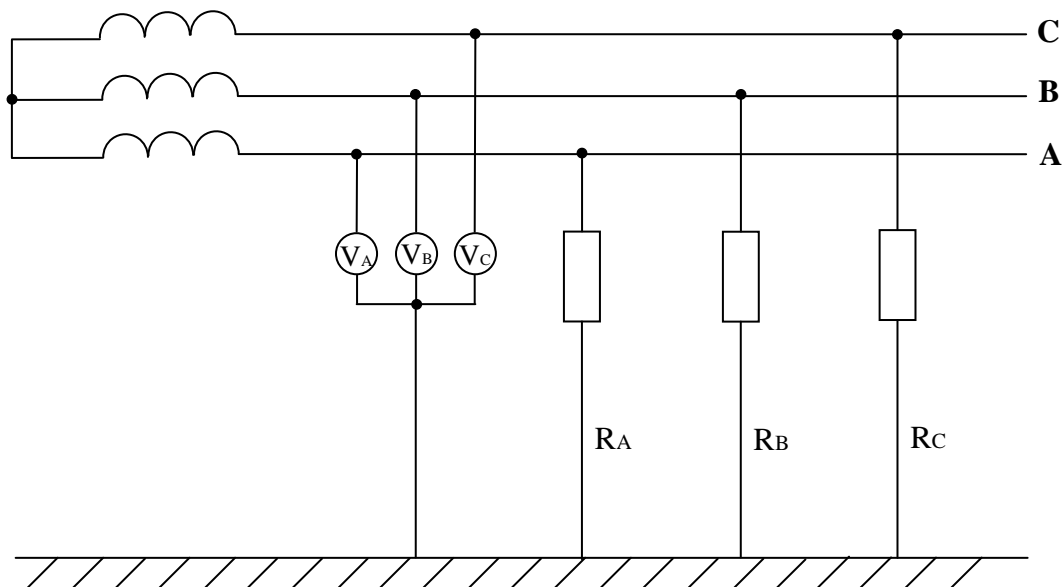


Рисунок 5. Схема трех вольтметров.

При исправной изоляции вольтметры показывают фазное напряжение. В случае глухого замыкания на землю один из них показывает ноль, а два других – линейное напряжение. По показаниям вольтметров можно судить лишь о наличии или отсутствии замыкания на землю, а не о значении сопротивления изоляции. При симметричном снижении изоляции вплоть до короткого замыкания вольтметры исправно будут показывать фазное напряжение. Ухудшение сопротивления одной из фаз приводит к снижению показаний соответствующего вольтметра и к увеличению показаний вольтметров других фаз.

Таким образом, схема трех вольтметров не измеряет сопротивление изоляции и согласно определению, данному в начале, не осуществляет контроль изоляции, а только обнаруживает замыкания на землю.

Схема осуществляет самоконтроль, так как неисправный вольтметр показывает ноль, а два других – фазное напряжение.



### 3. Описание лабораторной установки

В целях безопасности при проведении лабораторных работ, стенд подключен к напряжению 24В. Все значения активных и ёмкостных сопротивлений подобраны таким образом, чтобы получились токи как при  $U=220V$ , только при безопасном напряжении. В результате на шкалах приборов получаются абсолютно такие же значения как при  $U=220V$ . Активные и ёмкостные сопротивления сети эквивалентные  $U=220V$  используемые в работе представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Значения активных и ёмкостных сопротивлений сети.

R сети при 24 В, кОм	R сети при 220В, кОм	C сети при 24В, мкФ	C сети при 220В, мкФ
$R_4=R_{10}=R_{16}=20$	183,33	$C_1=C_5=C_9=2$	18,33
$R_5=R_{11}=R_{17}=33$	302,5	$C_2=C_6=C_{10}=4$	36,66
$R_6=R_{12}=R_{18}=51$	467,5	$C_3=C_7=C_{11}=6$	54,99
		$C_4=C_8=C_{12}=20$	183,33

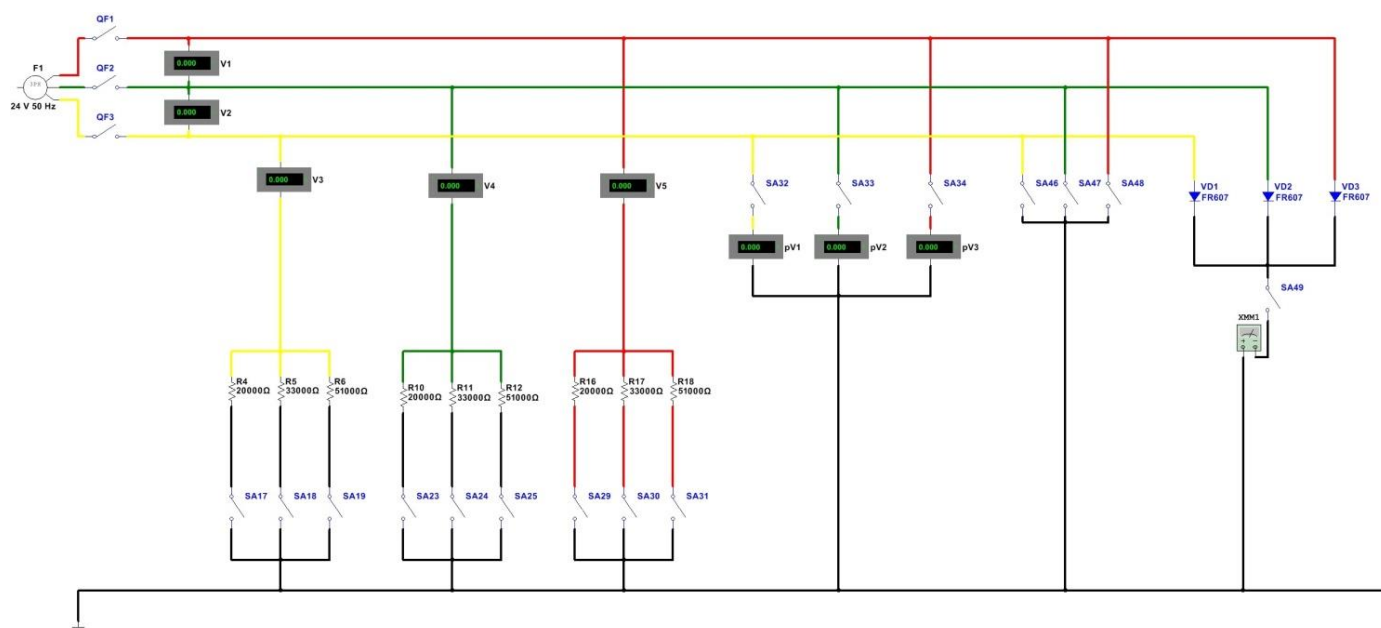


Рисунок 6. Схема лабораторного стенда в среде Multisim.

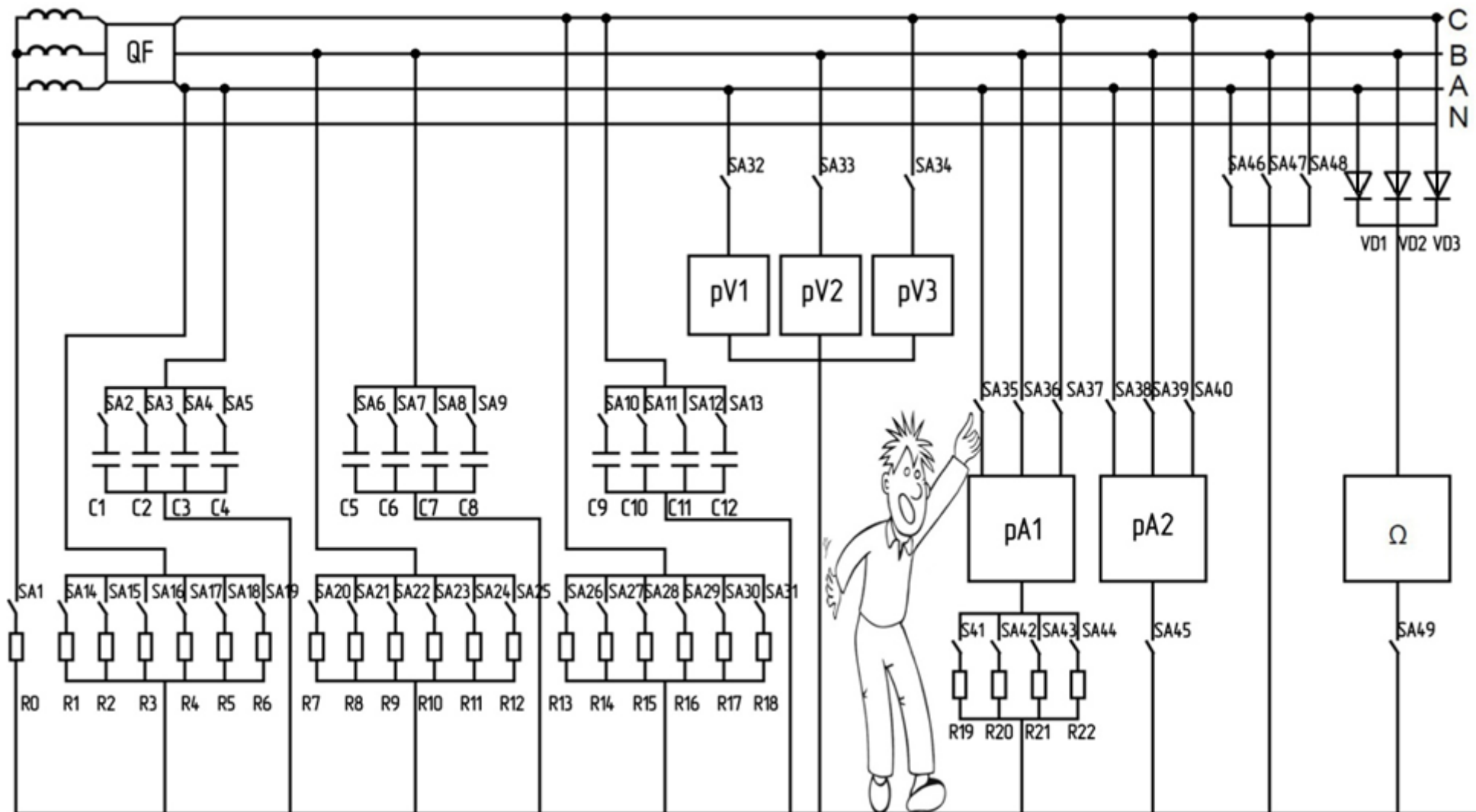


Рисунок 7. Схема лабораторного стенда.

Положение тумблеров вверх – «включено», вниз – «выключено».

Установка содержит автоматический выключатель QF – для подключения к питающей сети, тумблеры SA<sub>32</sub>, SA<sub>33</sub>, SA<sub>34</sub> – выполняют подключение вольтметров к фазам, SA<sub>49</sub> – подключение приборов, тумблеры SA<sub>46</sub>, SA<sub>47</sub>, SA<sub>48</sub> – замыкание фаз на землю, SA<sub>17-19</sub>, SA<sub>23-25</sub>, SA<sub>29-31</sub> – имитируют переменные сопротивления изоляции фаз (R<sub>4-6</sub>, R<sub>10-12</sub>, R<sub>16-18</sub>), позволяющие выполнять симметричное снижение изоляции – уменьшение сопротивления сразу всех трех фаз и несимметричное – уменьшение сопротивления только одной фазы. Для выполнения периодического контроля применяется мегомметр.

#### **4. Техника безопасности**

4.1. При выполнении лабораторной работы необходимо выполнять требования по технике безопасности, общие для лаборатории.

4.2. Внешним осмотром убедиться в исправности испытательного стенда.

4.3. При наличии неисправности испытательный стенд отключить от сети и поставить в известность преподавателя.

#### **5. Порядок выполнения работы**

Задание к работе:

– На лабораторном стенде выполнить периодический и постоянный контроль изоляции.

– Данные замеров сравнить с допустимой величиной сопротивления изоляции (таблица 1).

**5.1. Периодический контроль изоляции.**

**5.1.1. Подготовка стенда к работе:**

– все тумблеры поставить в положение «выключено» (вниз);

– тумблеры SA<sub>17-19</sub>, SA<sub>23-25</sub>, SA<sub>29-31</sub> поставить в положение «включено» (вверх) R<sub>4</sub>, R<sub>10</sub>, R<sub>16</sub>, соответственно;

**5.1.2. Сделать замеры фазных и межфазных сопротивлений изоляции.**

Симметрично уменьшая сопротивление изоляции, т.е. переводя тумблеры SA<sub>17-19</sub>, SA<sub>23-25</sub>, SA<sub>29-31</sub> в положение «включено» R<sub>5</sub>, R<sub>11</sub>, R<sub>17</sub>, затем R<sub>6</sub>, R<sub>12</sub>, R<sub>18</sub>. Выполнить замеры сопротивлений.

**5.1.3. Для одного из симметричных режимов изоляции выполнить пробой изоляции фазы А – включить тумблер SA<sub>46</sub>, выполнить замеры сопротивлений. Отключить SA<sub>46</sub>.**

**5.1.4. Тумблеры SA<sub>17-19</sub>, SA<sub>23-25</sub>, SA<sub>29-31</sub> поставить в положение R<sub>4</sub>, R<sub>10</sub>, R<sub>16</sub>.**

**5.1.5. Выполнить несимметричное снижение изоляции одной фазы. Для этого тумблеры SA<sub>17-19</sub> поставить в положение R<sub>4</sub>, выполнить замеры сопротивлений изоляции, затем перевести в положение R<sub>5</sub> и выполнить замеры.**

**5.2. Схема трех вольтметров (постоянный контроль изоляции).**

**5.2.1. Подготовка стенда к работе:**

– переключатели SA<sub>17-19</sub>, SA<sub>23-25</sub>, SA<sub>29-31</sub> поставить в положение R<sub>4</sub>, R<sub>10</sub>, R<sub>16</sub>;

- включить тумблеры  $SA_{32}$ ,  $SA_{33}$ ,  $SA_{34}$ ;
- подключить стенд к сети.

**5.2.2.** Снять показания вольтметров. Симметрично уменьшая сопротивления изоляции, снять показания приборов.

**5.2.3.** Для одного из симметричных режимов выполнить пробой фазы А на землю. Сделать замеры. Отключить  $SA_{46}$ .

**5.2.4.** Тумблеры  $SA_{17-19}$ ,  $SA_{23-25}$ ,  $SA_{29-31}$  поставить в положение  $R_4$ ,  $R_{10}$ ,  $R_{16}$ .

**5.2.5.** Выполнить несимметричное снижение изоляции, сняв при этом показания вольтметров.

**5.3.** Схема трех вентилях (постоянный контроль изоляции).

**5.3.1.** Подготовка стенда к работе:

- отключить  $SA_{32}$ ,  $SA_{33}$ ,  $SA_{34}$ ;
- включить  $SA_{49}$ ;
- тумблеры  $SA_{17-19}$ ,  $SA_{23-25}$ ,  $SA_{29-31}$  поставить в положение  $R_4$ ,  $R_{10}$ ,  $R_{16}$ .

**5.3.2.** Снять показания с прибора.

Симметрично уменьшая сопротивления изоляции, снять показания.

**5.3.3.** Для одного из симметричных режимов выполнить пробой фазы А на землю. Сделать замеры.

Отключить  $SA_{46}$ .

**5.3.4.** Поставить тумблеры  $SA_{17-19}$ ,  $SA_{23-25}$ ,  $SA_{29-31}$  в положение  $R_4$ ,  $R_{10}$ ,  $R_{16}$ .

**5.3.5.** Выполнить несимметричное снижение изоляции, сняв при этом показания.

**5.4.** Все тумблеры поставить в положение «выключено». Отключить стенд от сети. Данные замеров занести в таблицу 3.

Таблица 3.

Положение переключателей			Периодический контроль						Постоянный контроль					
SA 17-19	SA 23-25	SA 29-31	Показания мегомметра, МОм						Схема 3-х вольтметров					
A	B	C	R 4-6	R 10-12	R 16-18	R AB	R BC	R AC	V <sub>A</sub>	V <sub>B</sub>	V <sub>C</sub>	V AB	V BC	V AC

## 6. Указания к составлению отчета

- Цель работы.
- Таблица результатов.
- Выводы. Измеренные и нормированные сопротивления изоляции.
- Преимущества и недостатки схем контроля изоляции.

## **7. Вопросы для самопроверки**

1. Что называется изоляцией?
2. Факторы, влияющие на снижение сопротивления изоляции.
3. Величина тока через человека в сети с изолированной нейтралью.
4. Величина тока через человека в сети с глухозаземленной нейтралью.
5. Виды и методы контроля изоляции электроустановок.
6. Достоинства и недостатки периодического контроля.
7. Достоинства и недостатки контроля по схеме трех вольтметров.